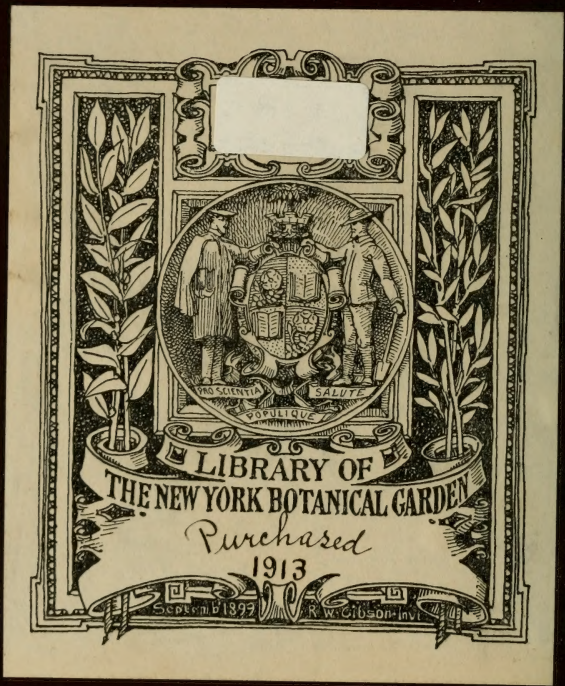
Dr. A. Wieler

Pflanzenwachstum und Kalkmangel im Boden


PRO SCIENTIA SALUTE POPULIQUE
LIBRARY OF
THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
Purchased
1913
Septemb 1897
R. W. Gibson Inv.

net 15.20

A. Wieler

Pflanzenwachstum und Kalkmangel im Boden

Pflanzenwachstum und Kalkmangel im Boden

Untersuchungen über den
Einfluß der Entkalkung des Bodens durch Hüttenrauch und über die giftige Wirkung von Metallverbindungen auf das Pflanzenwachstum

von

Professor Dr. A. Wieler

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Mit 43 Abbildungen im Text

Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12 a
1912

QD145
.W54
1912

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

Copyright, 1912, by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Druck von E. Buchbinder (H. Duske) in Neuruppin.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Inhaltsverzeichnis.

1. Abschnitt.

Die Entkalkung des Bodens durch Hüttenrauch und deren Wirkung auf die Pflanzen.

Seite

Einleitung. Gewisse Erscheinungen in den Rauchschadengebieten sind unverständlich bei Annahme einer ausschließlich direkten Beeinflussung der Vegetation durch den Hüttenrauch und weisen auf eine Wirkung des Bodens hin 1

Untersuchung der Frage, ob die Böden in Rauchschadengebieten durch den Hüttenrauch eine für die Vegetation schädliche Entkalkung erfahren . . 6

I. Untersuchungen im Claustaler Rauchschadengebiet 7

a) Die Örtlichkeit 8

b) Die Versuchsanstellung 13

Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf des Einersberges 15

Die neuen Versuchsflächen im Einersberge 17

c) Ergebnisse der Versuche 19

1. Die Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf 20

Das Verhalten der Leguminosen 21

Die ausgesäten Holzgewächse 30

Zusammenfassung der Ergebnisse S. 30.

2. Die drei neuen Versuchsflächen im Einersberge 32

aa) Die ausgesäten Pflanzen 32

Fichte S. 32, Kiefer S. 35, Krummholzkiefer S. 37, Eiche S. 40, Rotbuche S. 41, Birke S. 46, Schwarzerle S. 46, Spitzahorn S. 47, Bergahorn S. 49, *Robinia* S. 51, Besenstrauch S. 51, Stachelginster S. 54, Bohne S. 55, *Lupinus angustifolius* S. 55, *Lupinus luteus* S. 56.

bb) Verhalten der gepflanzten Bäume 57

Kiefer S. 57, Krummholzkiefer S. 58, Birke S. 59, Bergahorn S. 60, Eiche S. 61.

Zusammenfassung S. 62.

3. Die Versuchsflächen in der Oberförsterei Grund 65

4. Die Versuchsfläche im Distrikt 7 des Einersberges . . . 67

5. Versuche in der Oberförsterei Claustal 73

6. Zusammenfassung der Ergebnisse 74

JAN 16 1913

Seite

d) Über die Art des Wurzelwachstums im entkalkten Boden und ihre Ursache 81

Fichte S. 82, Kiefer S. 87, Krummholzkiefer S. 87, *Phaseolus vulgaris* S. 89, *Lupinus luteus* S. 91, *Vicia sativa* S. 92, *Vicia villosa* S. 92, *Spartium scoparium* S. 92, *Robinia Pseudacacia* S. 93, Birke S. 93, Erle S. 93, Spitzahorn S. 94, Bergahorn S. 94, Rotbuche S. 95, Eiche S. 95.

1. Wirkt der Kalk als Neutralisationsmittel der freien Humussäuren? 96

aa) Versuch mit saurem Boden von den Versuchsflächen im Harz 97

bb) Versuche mit Heideerde in Töpfen 105

cc) Versuche mit Moorboden 107

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse S. 107.

2. Der direkte Einfluß von Kalk auf das Wachstum der Wurzeln 109

Fichte S. 109, Kiefer S. 110, *Lupinus luteus* S. 111, *Helianthus annuus* S. 111, *Avena sativa* S. 112, Zusammenfassung der Versuchsergebnisse S. 112. Die Art der Kalkwirkung S. 112, Reizwirkung, Kalkfaktor. Aus dem Kalkmangel erklärt sich die schädliche Wirkung des Bodens im Claustaler Rauchschadengebiet S. 116. Schädigung der Mikroflora S. 121. Rückwirkung auf das Wachstum der höheren Pflanzen S. 129.

II. Das Verhalten der Böden in anderen Rauchschadengebieten 129

Altenauer Rauchschadengebiet S. 130. Das Rauchschadengebiet bei der Herzog Juliushütte bei Goslar S. 131, bei Oker S. 132. Das Rauchschadengebiet in Oberschlesien bei Kattowitz-Myslowitz S. 132. Der Stadtwald von Eschweiler i. Rh. S. 133. Der Probsteywald bei Stolberg i. Rh. S. 134. Burgberg bei Lethmathe S. 135. Entkalkung von Ackerböden S. 135. Die Städte als Rauchschadengebiete S. 138.

III. Die Resistenz der Bäume gegen Hüttenrauch 141

Die ungleiche Resistenz der verschiedenen Holzarten gegen Hüttenrauch eine Folge ungleicher Kalkansprüche S. 141. Die individuelle Resistenz der Bäume S. 145. Das schnellere Absterben der den Bestand überragenden Bäume unter Einwirkung von Hüttenrauch S. 148. Größere Widerstandsfähigkeit der Bäume gegen Hüttenrauch an feuchteren Standorten S. 151.

Über den Ursprung der sauren Böden 152

Das Primäre ist der saure Charakter der Pflanzenteile, aus denen der Humus hervorgeht S. 152. Der Boden wird sauer, wenn im Boden nicht soviel Basen vorhanden sind, um die absorptiv ungesättigten Massen zu sättigen S. 159. Der Mangel an Basen, insbesondere des Kalks, hemmt die bakteriologischen Prozesse im Boden und verlangsamt oder verhindert die Zerstörung der organischen Massen S. 161. Die Zersetzung der Salze durch die absorptiv ungesättigten organischen Massen trägt zum Aufschluß des Bodens bei S. 163.

Seite

Die Rauchexpertise 164

Die Pflanzen können vielfach unbeschadet größere Mengen schweflige Säure durch die Blätter aufnehmen, als man bisher angenommen hat. Es ist deshalb große Vorsicht zu üben in der Verwertung der Schwefelsäureanalyse zur Beurteilung von Rauchschäden S. 165. Die „Fangpflanzenmethode“ S. 166. Künftighin ist bei der Rauchexpertise die Berücksichtigung des Bodens erforderlich S. 169.

Zusammenfassung 171

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse S. 171. Aussicht, einem Teil der Schäden durch rechtzeitige Kalkung entgegenwirken zu können und beschädigte oder gar verödete Ländereien wieder nutzbar zu machen S. 173.

2. Abschnitt.

Die Wirkung metallischer Gifte im Boden auf das Pflanzenwachstum.

Mit Flugstaub kommen metallische Verbindungen auf den Boden. Es war zu untersuchen, ob sie giftig wirken 177

a) Topfversuche mit Heideerde 178

b) Topfversuche mit einer Erdmischung unbekannter Zusammensetzung 183

Lupinen S. 184, Weizen S. 186, Fichte S. 187.

c) Topfversuche mit Sand 188

Lupinen S. 188, Sonnenblume S. 190, Fichte S. 191, Kiefer S. 191.

d) Versuche mit Moorboden 193

Weizen S. 194, Roggen S. 195, Hafer S. 196, Buchweizen S. 197, Raps S. 197, Gelbe Lupine S. 198, Eiche S. 199, Roteiche S. 199, Rotbuche S. 200, Fichte S. 201, Kiefer S. 203, Krummholzkiefer S. 206. Zusammenfassung S. 209.

e) Versuche mit Gartenboden 211

Beschreibung der Versuche S. 211, Getreidearten S. 212, Buchweizen S. 213, Sonnenblume S. 216, Gelbe Lupine S. 217, *Robinia Pseudacacia* S. 218, *Ulex europaeus* S. 219, Fichte, Kiefer und Krummholzkiefer S. 219.

Zusammenfassung der Ergebnisse 220

Zusammenfassende Darstellung des Verhaltens der Pflanzen gegen die in die Untersuchung gezogenen metallischen Verbindungen 222

1. Abschnitt.

Die Entkalkung des Bodens durch Hüttenrauch und deren Wirkung auf die Pflanzen.

Meine experimentellen „Untersuchungen über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen“ [1]) und die Erfahrungen, welche ich in Rauchschadengebieten zu sammeln Gelegenheit hatte, machten es mir sehr wahrscheinlich, daß die Rauchschäden nicht lediglich durch eine Beschädigung der Blattorgane mit ihren Folgewirkungen zustande kommen, sondern daß noch ein anderer gewichtiger Faktor dabei im Spiele ist, der Boden. Ganz besonders deuten die chronischen und unsichtbaren Schäden daraufhin, Schäden, bei denen keine Beschädigung der Blattorgane auftritt, und bei denen trotzdem die Pflanzen leiden und allmählich zugrunde gehen. Die Ansicht, daß die chronischen Schäden dadurch hervorgerufen werden, daß die Säuren aus den starken Verdünnungen in der Luft bis zum Auftreten schädlicher Konzentrationen in der Blattzelle gespeichert werden, schien mir sehr unwahrscheinlich zu sein, namentlich wenn man erwog, daß diese Schäden häufig zu ihrer Entwicklung vom schwächsten bis zum stärksten Grade, dem Absterben der Bäume, Zeiträume von mehr als einem Menschenalter beanspruchen [2]). Wenn es sich um eine Anreicherung an Säure in der Zelle handelte, so müßte man erwarten, daß die Einwirkung sich noch bei Lebzeiten der speichernden Organe an dem Baume bemerkbar machte, das wären aber bei den sommergrünen Pflanzen eine, bei den immergrünen mehrere, aber kaum mehr als höchstens sieben Vegetationsperioden, wie bei der Fichte.

[1]) A. Wieler, Berlin 1905.

[2]) Reuß, Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'schen Forstreviere Myslowitz-Kattowitz. Goslar 1893, S. 3.

Schon mehr Wahrscheinlichkeit für sich hatte die Ansicht, daß die assimilatorische Funktion der Blätter durch die Säure beeinflußt werde, wodurch sich der Vorrat an verfügbarer plastischer Substanz jährlich vermindern würde, was allmählich zur Verkleinerung der Blattfläche und schließlich zum Untergange der Bäume führen müßte. Es läßt sich zeigen, daß tatsächlich die Assimilation durch die Säure ungünstig beeinflußt wird; aber die Versuche zeigen zugleich, daß eine erhebliche Verminderung der Assimilation nur bei verhältnismäßig hoher Konzentration eintritt, und es ist noch sehr zweifelhaft, ob die Konzentrationen, bei denen die Bäume über ein Menschenalter bis zum Absterben brauchen, hoch genug sind, um die Assimilation so ausgiebig zu beeinflussen, daß die Bäume durch die verminderte Stoffproduktion leiden und zugrunde gehen. Immerhin muß die Möglichkeit zugegeben werden, da ja durch die Summierung der kleinen aus der Luft absorbierten Säuremengen für die Assimilation schädliche Konzentrationen entstehen könnten. Aber ich halte es für unwahrscheinlich.

Wenn nun auch die theoretische Möglichkeit bis auf weiteres besteht, daß ausschließlich auf diese Weise die chronischen und unsichtbaren Schäden zustande kommen, so ist nicht zu verkennen, daß sich neben diesem Faktor noch ein andrer geltend machen muß, der jenen unterstützt, der Boden, welcher durch die Säure beeinflußt und verändert wird. Ja es könnte sogar sein, daß dieser Faktor nicht nur das Übergewicht erlangte, sondern sogar der einzig wirksame würde.

Die Berechtigung zu einer solchen Auffassung war in dem Umstand zu erblicken, daß das Absterben der Bäume in den Rauchschadengebieten den Eindruck macht, als ob die Ursache dafür im Boden gesucht werden müßte, als ob sich für die Bäume beispielsweise die Wasseraufnahme immer ungünstiger gestaltete. Diese Beobachtungen zwangen dazu, zu ermitteln, welche Rolle der Boden in den Rauchschadengebieten bei der Zerstörung der Vegetation durch Rauch spielt. Schon gewisse Erwägungen weisen auf seine hohe Bedeutung für den Vorgang hin.

Da die Säure ebensogut den Boden wie die Blätter trifft, so ist eine Wirkung derselben auf den Boden gegeben. Ob die Säure nur chemisch wirkt, oder ob sie in einer solchen Konzentration auf den Boden gelangt, daß sie auch das Wurzelsystem schädigt, war von vorne herein nicht zu entscheiden. Letzteres war nach

den vorliegenden Versuchen nicht sehr wahrscheinlich[1]), wenn auch für andere Fälle nicht ausgeschlossen. Schon zeitig im Beginne der Rauchforschung hat man sich mit der Einwirkung der Säure auf den Boden beschäftigt, ist aber auf Grund der ausgeführten Untersuchungen zu dem Schlusse gekommen, daß die Rauchgase, abgesehen von Umsetzungen im Boden, keine Veränderungen in ihm hervorbringen, und daß somit von einer Beschädigung des Bodens durch die sauren Rauchgase nicht die Rede sein konnte[2]). Diese herrschend gewordene Ansicht wird damit begründet, daß keine nennenswerte Anreicherung an Schwefelsäure im Boden nachweisbar ist, und mit der ungeprüften Voraussetzung, daß der Boden genügend Basen enthalte, um die niederfallende Säure zu binden. Man übersah hierbei, welche ungeheuren Mengen Säure in einem Rauchschadengebiet im Laufe eines Jahres in die Luft gehen und natürlich auch wieder niederfallen müssen. Man blieb bei dieser Ansicht, trotzdem Reuß[3]) 1893 berechnet hat, wieviel Säure auf einen Quadratmeter im von Tiele-Wincklerschen Walde in Oberschlesien niederfällt. In Jagen 26 sind es jährlich 352 und in Jagen 34 277 g Schwefeldioxyd. Davon gelangt nur ein Teil auf den Boden; sein Betrag läßt sich nicht schätzen, wird aber nicht unbedeutend sein und übt eine erhebliche Einwirkung auf den Boden aus.

Eine Berechnung von Hasenclever[4]) für das Rauchschadengebiet bei Stolberg i. Rh. zeigt, welche ungeheure Menge Säure in die Luft gelangt. Dort entwickelten 1879 nicht weniger als 220 Schornsteine in 24 Stunden 86588 kg schweflige Säure und Salzsäure. Das macht im Jahr 31724620 kg, die irgendwo wieder zu Boden kommen müssen. Nimmt man an, daß sich die Säure gleichmäßig über ein Gebiet von 40 Quadratkilometern verbreitet, dann würden im Jahre auf jeden Quadratmeter 793 g Säure entfallen, von denen vermutlich ein ansehnlicher Teil den Boden trifft. Noch schlimmer erscheinen die Verhältnisse, wenn man auf das Stolberger Rauchschadengebiet die Reußsche Berechnungsweise zur Ermittlung der Anteile an der Beschädigung, falls mehrere Rauchquellen gleich-

[1]) Haselhoff und Lindau, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig 1903, Gebr. Borntraeger, S. 47 ff.

[2]) Haselhoff und Lindau, l. c., S. 46.

[3]) Reuß, a. a. O.

[4]) Hasenclever, Über die Beschädigung der Vegetation durch saure Gase Chem. Industrie 1879.

zeitig tätig sind, anwendet. Beschränken wir uns auf den Schaden, welchen die Rauchquellen bei südwestlichen Winden verursachen, und nehmen wir an, daß für diese Windrichtung nur der halbe Komplex von industriellen Anlagen, also auch nur die Hälfte der exhalierten Säuremenge in Betracht kommt. Bei Zugrundelegung der Aachener Windverhältnisse[1]) machen die südwestlichen Winde 25% aller Winde aus. Sie verbreiten demnach über das von uns gewählte Areal 3965574 kg. Hiervon sollen nach Reuß 33% auf den ersten und 10% auf den vierten Kilometer, also 1308628 resp. 396557 kg entfallen. Es würden also allein bei südwestlichen Winden im Jahre auf ein Quadratmeter entfallen im ersten Kilometer 3,36 kg, im vierten Kilometer 135 g. Von diesen Beträgen muß natürlich auch eine große Menge den Boden treffen. Nun wiederholen sich diese Vorgänge viele Jahre hintereinander, ehe die Schäden beobachtet werden, oder ehe die Bäume vernichtet sind. Durch diese Summierung gelangt jedenfalls ein sehr hoher Betrag von Säure in den Boden, und die Befürchtung ist nicht unbegründet, daß die Basen im Boden nicht ausreichen, um die niederfallende Säure zu binden. Aber selbst, wenn zunächst ausreichende Mengen Basen vorhanden sind, so entstehen doch lösliche schwefelsaure Verbindungen, z. B. Gips, die aus dem Boden ausgewaschen werden. Ein derartiger Entzug an mineralischen Nährstoffen kann aber nicht ohne Einfluß auf die Vegetation bleiben.

Die theoretischen Erwägungen fanden eine Stütze in verschiedenen Erscheinungen, die sich nicht befriedigend erklären ließen, wenn man die Ursache der Schäden und der Vernichtung der Vegetation lediglich in Angriffen der Säure auf die Blätter erblickt.

Hier ist erstens die Bildung der Rauchblößen zu erwähnen. Ihre Entstehung ist aus dem Claustaler Rauchschadengebiet durch v. Schroeder und Reuß[2]) näher bekannt geworden. An Stelle des weggeräucherten Waldes tritt Gras auf, und dem Grase folgt das Heidekraut; schließlich geht auch dies zugrunde, und eine vollständig kahle Fläche bleibt übrig. Wenn die Beschädigung lediglich durch die Blattorgane hindurchginge, wäre dieser Vege-

[1]) Polis, Die Wind- und Gewitterverhältnisse von Aachen. Deutsches Meteorologisches Jahrb. f. Aachen 1900, Karlsruhe 1901.

[2]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. Berlin 1883. Vergl. auch Haselhoff und Lindau, Die Beschädigung der Vegetation 1903 Leipzig.

tationswechsel nicht verständlich. Das Gras hält sich oft viele Jahre lang an derselben Stelle, und ebenso geht es mit dem Heidekraut. Wenn diese Pflanzen etwa 20 Jahre lang den Einwirkungen der stark sauren Gase widerstanden haben, ist nicht einzusehen, warum sie nicht noch länger die Einwirkung der sauren Gase ertragen sollten. Dieser Wechsel der Vegetation wird aber leicht verständlich, wenn man eine allmähliche Verschlechterung des Bodens annimmt. Sterben die Bäume ab, so geschieht das, weil sie auf diesem Boden nicht mehr die nötigen Existenzbedingungen finden. Hier vermag noch das Gras zu vegetieren. Verschlechtert sich der Boden weiter, wird es von der genügsameren Heide abgelöst, bis auch ihr die Verhältnisse nicht mehr zusagen, es wird dann das Gelände vollständig kahl.

Im Jahre 1881 hat Reuß Boden von der Rauchblöße bei der Claustaler Silberhütte in seinen rauchfrei gelegenen Versuchsgarten in Goslar schaffen lassen und ihn hier mit Bäumchen bepflanzt, so daß die Einwirkung des Hüttenrauches auf die Blattorgane ausgeschaltet war. Im August 1882 war das Ergebnis dieses Versuches, daß von Esche 100 %, Ahorn 92 %, Buche 72 %, Fichte 8 %, Kiefer 8 %, Eiche 0 % der Bäume zugrunde gegangen waren. Es sind demnach eigentlich nur die Eiche, Fichte und Kiefer gekommen, aber auch die Nadelhölzer waren nicht normal, wie aus den Angaben über die Ausbildung des Wurzelsystems hervorgeht. Reuß hat durch diesen Versuch schon den Beweis geführt, daß der Boden durch den Hüttenrauch so verschlechtert wird, daß er keine Bäume mehr hervorbringen kann. Er hat aber aus diesen Versuchsergebnissen nicht die entsprechenden Folgerungen gezogen.

Eine zweite hierhergehörige Erscheinung sind die Rauchblößen, welche am Fuß großer Bäume, z. B. Buchen, entstehen. Es fehlt hier jegliche Vegetation, auch wenn die Lichtverhältnisse eine solche gestatten würden. Diese Erscheinung ist so charakteristisch, daß sie geradezu als ein Erkennungszeichen für Rauchschäden nach Oberförster Oster betrachtet werden kann. Ihr Entstehen ist vermutlich auf die Wirkung der im Regenwasser gelösten Säure zurückzuführen, das am Stamm herunterläuft. Der Boden ist ganz unfähig geworden, Pflanzen hervorzubringen, wie aus englischen Parlamentsverhandlungen des Jahres 1873 hervorgeht. Vor der Rauchschadenkommission des Parlaments erwiderte Sir R. Brooke auf die Frage, ob das Gras am Fuße der

Bäume nicht wüchse: „Fast alle Bäume, besonders aber die großen, sind von einem vollständig kahlen Fleck umgeben, welcher von der vom Baum herabfließenden, alle Vegetation zerstörenden Säure herrührt. Nichts will dort wachsen. Vergeblich hat mein Gärtner versucht, ob irgend etwas darauf wachsen kann. Es bleibt eine kahle Fläche um alle Bäume herum“ [1]). Es ist schwer, sich das Zustandekommen solcher kahler Flecken aus einer direkten Einwirkung der Säure auf die Pflanzen zu erklären.

Eine dritte Beobachtung fand sich in der Literatur, die mir auch nur aus einer Veränderung der Bodenbeschaffenheit erklärlich zu sein schien. In dem oben erwähnten Werke von v. Schroeder und Reuß wird von den rauchbeschädigten Fichten erwähnt, daß sich um ihren Fuß herum die abgefallenen Nadeln bis zu 30 und 40 cm Höhe anhäufen, ohne sich zu zersetzen (S. 318). Im Zusammenhang mit der vorhergehenden Beobachtung wird man den Grund dafür, daß die Nadeln nicht zersetzt werden, nicht in einer Vergiftung derselben mit schwefliger oder arseniger Säure oder mit metallischem Flugstaube suchen, sondern in dem für Zersetzung organischer Materie ungeeignet gewordenen Bodenzustand.

Diese Erfahrungen im Verein mit den theoretischen Erwägungen über den Verbleib und die Wirkungsweise der in die Luft gelangenden Säure führten mich dazu, mich eingehender mit dem Einfluß des Bodens auf die Rauchschäden zu befassen. Aus der Wahrnehmung, daß die Böden in den Rauchschadengebieten stark humussauer sind, und aus dem Zustand der absterbenden Vegetation, die unter Wasser- und Nährstoffmangel zu leiden schien, ging mir hervor, daß die Ursache aller dieser Erscheinungen in einer langsamen Entkalkung des Bodens gesucht werden müßte. Welche Säure auch immer den Boden treffen mag, es entstehen stets lösliche, wenn auch wie beim Gips schwer lösliche Kalkverbindungen, die vom Regenwasser aus dem Boden ausgewaschen werden. Die Bildung der Salze erfolgt so langsam, daß auch der schwerlösliche Gips stets in Lösung bleiben kann.

Ich habe im Jahre 1905 [2]) einen Versuch veröffentlicht, alle bei den unsichtbaren und chronischen Schäden beobachteten Er-

[1]) Angeführt nach Borggreve, Waldschäden im Oberschlesischen Industriebezirk. Zeitschrift des Oberschlesischen Berg- und Hüttenmännischen Vereins, Frankfurt a. M. 1895, S. 88.

[2]) A. Wieler, Untersuchungen über die Einwirkung der schwefligen Säure auf die Pflanzen. Berlin 1905.

scheinungen aus einer Entkalkung des Bodens zu erklären, und glaube, damit zu befriedigenderen Ergebnissenge langt zu sein, als diejenigen, welche sie aus einer direkten Beeinflussung der Vegetation durch die sauren Gase herleiten. Leider konnte ich mich damals nicht durch direkte Versuche von der Richtigkeit meiner Ansicht überzeugen. Es hat mir aber ganz fern gelegen, im Bodenfaktor die einzige Ursache von Rauchschäden zu suchen. Die akuten Schäden sind selbstverständlich nicht hieraus zu erklären, wenn sich mit ihnen auch die Wirkung der Entkalkung verbinden kann. Und etwas Ähnliches gilt auch für manche chronische Schäden. Es wird eine Aufgabe für die Zukunft sein, zu ermitteln, in welchem Grade in jedem einzelnen Falle die beiden Faktoren an der Zerstörung der Vegetation beteiligt sind. Einstweilen war es aber wichtig, darauf hinzuweisen, daß in der Bodenveränderung ein sehr gewichtiges Moment für die Rauchschadenwirkung zu suchen ist. Die Rauchschadenfrage bekam durch die Berücksichtigung des Bodeneinflusses ein ganz anderes Gesicht, da sich die Möglichkeit eröffnete, die Rauchschäden bis zu einem bestimmten Grade zu beseitigen und ihnen vorzubeugen. Mit Recht konnte ich auf die große Bedeutung hinweisen, welche die einwandsfreie Feststellung der Entkalkung des Bodens in Rauchschadengebieten für die Praxis hätte.

In Erkenntnis ihrer Tragweite beschloß das königlich preußische Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten im Jahre 1905, die Frage durch Versuche in geeigneten fiskalischen Wäldern prüfen zu lassen, und beauftragte mich mit der Ausführung der Versuche, wofür ich an dieser Stelle meinen ehrerbietigsten Dank ausspreche. Im Nachstehenden lasse ich die Ergebnisse dieser Versuche folgen.

I. Untersuchungen im Claustaler Rauchschadengebiet.

Die Versuchsanstellung ging von dem Gedanken aus, daß, falls die Entkalkung das schlechte Wachstum der unter Rauchwirkung stehenden Bäume veranlaßte, es wieder gefördert werden müßte, wenn man dem Boden Kalk zusetzte, und daß dort wieder Bäume wachsen müßten, wo sie durch den Hüttenrauch vernichtet worden waren. Im Gegensatz zu den Reußschen Versuchen mußten diese Versuche im Rauchschadengebiet selbst angestellt werden; sie gingen ja auch von einem anderen Ge-

sichtspunkte aus. Reuß wollte feststellen, wie der Boden auf die in ihn gepflanzten Bäume wirkte unter Ausschluß der Säurewirkung in der Luft. Bei den vorliegenden Versuchen war die säurehaltige Luft der konstante Faktor und der Kalkgehalt variabel. Sollten die Pflanzen unter der Säure der Luft leiden, so mußte nichtsdestoweniger ein Unterschied im Wachstum der Pflanzen hervortreten, wenn eine Entkalkung mit im Spiele war. Auch setzte ich voraus, daß die durch die direkte Einwirkung der sauren Luft auf die Pflanzen hervorgerufenen Schäden gegenüber denen durch die vermutete Entkalkung hervorgerufenen sehr zurücktreten würden, so daß diese Versuche unter allen Umständen einen Ausschlag geben mußten; und in dieser Annahme haben mir die Versuchsergebnisse recht gegeben. Für die Versuche wurde das Claustaler Rauchschadengebiet gewählt, da es durch die Untersuchungen von v. Schroeder und Reuß genau bekannt war, und es zweckmäßig sein konnte, ihre unter ganz anderen Gesichtspunkten ausgeführte Untersuchung mit den Ergebnissen dieser Versuche zu vergleichen.

a) Die Örtlichkeit.

Die Örtlichkeit des Rauchenschadengebietes hat eine eingehende Beschreibung von v. Schroeder und Reuß gefunden, und ich kann mich auf ihre Darstellung beziehen. Wem dies Werk nicht zur Verfügung steht, der kann sich über dieselbe auch aus dem Meßtischblatt Sektion Seesen orientieren. Eine knappe Beschreibung der örtlichen Verhältnisse haben auch Haselhoff und Lindau gegeben[1]).

Die Frankenscharner-Hütte liegt im Innerstetal, wo rechts der Zellbach in die Innerste mündet. Die Innerste fließt in vielen und starken Windungen in südlicher Richtung von der Hütte nach Wildemann zu. In die Krümmungen schieben sich von beiden Seiten Rücken der Berge hinein. Auf dem linken Ufer des Flusses liegt die Oberförsterei Grund, auf dem rechten Ufer die Oberförsterei Zellerfeld, südlich von der Hütte die Oberförsterei Claustal. Der Berg, welcher sich auf dem rechten Ufer zwischen dem Spiegeltal mit Wildemann im Norden, dem Innerstetal im Westen und teilweise im Süden und dem Zellbach im Süden und Südosten er-

[1]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig 1903.

streckt, ist der Einersberg, von dem sich mehrere Rücken in das Innerstetal hineinschieben, die durch kleine Seitentäler voneinander getrennt sind. Der Rücken gegenüber der Hütte zwischen dem kleinen Todtental und der Eisenbahn ist der Hüttenkopf; auf ihm liegt der trigonometrische Punkt in der Höhe von 559 m. Der nächste Rücken erstreckt sich zwischen dem kleinen und großen Todtental, der folgende zwischen diesem und dem oberen Auerhahntal und der nächstfolgende zwischen dem oberen Auerhahntal und dem zweiten Auerhahntal. Auf diese Rücken werden wir später zurückkommen. Die Erze werden im Tal geröstet, und früher verbreiteten sich die sauren Gase unmittelbar im Tal, von wo sie auf die Berge hinaufgelangten. Seit einigen Jahren wird die schweflige Säure in Kanälen zu einem Kamin geleitet, der auf dem hinter der Hütte gelegenen Hüttenberge errichtet ist. Die Gase werden von den südlichen Winden, aber noch mehr von dem Talzug talabwärts geführt, doch schlug die Säure nicht den gewundenen Weg des Tales ein, sondern den geraden Weg über alle vorspringenden Rücken hinweg und vernichtete die Wälder. Vermutlich geht die Säure im wesentlichen auch heute noch den gleichen Weg, wenn er sich auch infolge der Errichtung des Kamins vielleicht etwas mehr nach der Grunder Seite verschoben hat. Jedenfalls sind die Forstbeamten in der Oberförsterei Zellerfeld der Ansicht, daß die Schäden im Einersberge zum Stillstand gekommen sind. Dafür will man eine Vermehrung der Rauchschäden im Claustaler Revier beobachtet haben. Die Abbildung 1 kann eine Vorstellung von dem Aussehen der dortigen Landschaft geben.

Auf der rechten Seite des Bildes liegt der Einersberg, der nach links in das Tal den zwischen den beiden Todtentälern liegenden und vorspringenden Rücken hinaussendet. Am Fuße des Rückens läuft die Eisenbahn. Die Hütte liegt weiter zurück nach Osten. Auf der anderen Seite des Tales sieht man auf der Höhe den Wald; man erkennt deutlich die Grenze desselben nach unten zu. Wo sich der Berg seitlich etwas einsenkt, geht die Waldgrenze tiefer hinab. Auf der Zellerfelder Seite ist oben am Abhang die Waldgrenze kenntlich, deren Saum durch vereinzelt stehende Fichten gebildet wird. Der Abhang auf den Beschauer zu ist mit Heide bewachsen, nach dem Walde hinauf mit Gras, das sich nach unten zu etwa in der Mitte des Rückens in vollständig vegetationslose Wüste verliert. Der Regen hat tiefe Furchen in den nackten Boden gegraben, in denen sich noch ver-

einzelte Büschel von Gras oder Heide angesiedelt haben. Auf der anderen Seite des Tals ist das Gelände unterhalb des Waldes mit Gras bewachsen, in tieferen Partien mit Heide. Der östlich von diesem Rücken gelegene Hüttenkopf ist mit Heidekraut bewachsen. Überschreitet man den Rücken, der in unserer Abbildung wiedergegeben ist, so sehen wir, daß der folgende Rücken mit Heide und der nächstfolgende mit Gras bewachsen ist. Abbildung 2 zeigt uns den Rücken des ersten Bildes von der anderen Seite. Hier sind deutlich die Rinnen zu erkennen, welche das ab-

Abb. 1.

Blick in das Innerstetal bei der Claustaler Silberhütte. Rücken des Einersberges zwischen dem kleinen und großen Todtental.

fließende Regenwasser eingegraben hat. Abbildung 3 zeigt uns den folgenden Rücken zwischen dem großen Todtental und dem oberen Auerhahntal, von der anderen Seite des Innerstetales aufgenommen. In der Mitte des Bildes zieht sich die Chaussee von Claustal nach Wildemann hin. Im unteren Teil finden sich wieder die Rinnen und verhältnismäßig wenig Vegetation; soweit eine solche vorhanden ist, kommt Heidekraut vor, das nach oben hin geschlossener wird und sich als geschlossene Decke weit über

den auf dem Bilde sichtbaren Weg hinüber erstreckt. Dann folgt auf den Wald zu Gras. Der folgende Rücken zwischen dem oberen und zweiten Auerhahntal zeigt nur eine Bedeckung mit Gras.

Diese Rinne, wie man es bezeichnen möchte, die der Rauch in den Wald eingefressen hat, ist noch weiter flußabwärts bis nach Wildemann zu verfolgen. Auf der Grunder Seite setzt sie sich auch nach Süden weiter über unser Bild fort (Abb. 1), und hier

Abb. 2.

Rücken des Einersberges zwischen dem kleinen und großen Todtental, von der von der Hütte abgewandten Seite gesehen.

sind die näher zur Hütte hinliegenden Teile mit Heidekraut bewachsen.

So sieht die Gegend aus, in welcher die Versuche angestellt wurden. Wie schon oben erwähnt, sollten sowohl Versuche im geschlossenen Bestande wie auf der geschilderten baumlosen Fläche angestellt werden. Die ersteren Versuche wurden in geschlossenen

Beständen des Einersberges angestellt, die bei Beginn der Versuche erfahrungsgemäß unter der Einwirkung des Hüttenrauches standen. Die anderen Versuche wurden zunächst auf einer kleinen Versuchsfläche auf dem Hüttenkopfe des Einersberges ausgeführt. Die Versuchsergebnisse führten bald dazu, diese Versuchsfläche zu vergrößern und nach einigen Jahren dazu, noch weitere Versuchs-

Abb. 3.
Rücken des Einersberges zwischen dem großen Todtental und dem oberen Auerhahntal mit der zweiten neuen Versuchsfläche. Von der Grunder Seite gesehen.

flächen im Einersberge und zwar auf den drei oben beschriebenen, in das Tal vorspringenden Rücken anzulegen. Hierzu wurden dann noch auf der Grunder Seite drei Anflugshorste hinzugenommen, die etwa in den gleichen Entfernungen von der Hütte lagen wie die drei Versuchsflächen auf den vorspringenden Rücken des Einersberges, die ich als neue Versuchsflächen bezeichnen will.

b) Versuchsanstellung.

Für die Versuche mit den älteren Fichten wurden zwei Bestände gewählt, die nördlich von der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf liegen, der eine Bestand mitten im Innern des Waldes, der andere am Rande und etwas östlicher gelegen. Die erstere Versuchsfläche war ein etwa 70jähriger mäßig geschlossener Stangenort im Distrikt 7. Hier wurde eine Fläche von 1600 qm eingezäunt und in 4 parallele Streifen geteilt, deren Längsachse möglichst auf die Hütte zu orientiert war. Ein Umarbeiten des Bodens war der flachstreichenden Wurzeln der Fichte wegen unmöglich; man mußte sich damit begnügen, ihn mit einem Rechen durchzuharken. Von den 4 Parzellen blieb die eine ungekalkt, eine wurde mit kohlensaurem Kalk, eine dritte mit kohlensaurem Kalk und Ammoniumsuperphosphat und die vierte ausschließlich mit Ammoniumsuperphosphat gedüngt. Als der Versuch 1905 begann, wurde als kohlensaurer Kalk grob zerkleinerter Kalkstein genommen. Da sich dieser aber bekanntlich schwer zersetzt, der Effekt der Kalkung also erst sehr spät in die Erscheinung getreten wäre, so wurde im folgenden Jahre die Kalkung erneuert und zwar mit fein gemahlenem Kalkstein. Um die Wurzeln der Fichten und die Mikroflora nicht zu schädigen, war kein Ätzkalk oder Staubkalk wie auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf verwendet worden.

Die zweite Versuchsfläche hatte eine dreieckige Gestalt, war kleiner und lag am Rande des geschlossenen Waldes an einem Wege. Die Bäume waren ungefähr so alt oder etwas älter als die auf der vorhergehenden Versuchsfläche. Auch hier wurde der Boden mit einem Rechen durchgeharkt und dann im Jahre 1905 mit Stücken von Kalkstein gekalkt. Im folgenden Jahre wurde die Kalkung mit gemahlenem Kalkstein aus denselben Gründen wie bei der ersten Versuchsfläche wiederholt. Eine Düngung mit Ammoniumsuperphosphat unterblieb hier. Zum Vergleich mit dieser gekalkten Parzelle sollten die umliegenden Waldpartien dienen.

Die Düngung mit Ammoniumsuperphosphat ging von dem Gesichtspunkt aus, daß der Kalkmangel im Boden auch weitere Veränderungen im Gefolge gehabt haben, daß vor allen Dingen eine starke Stickstoffverminderung eingetreten sein und daß es dem Boden vielleicht auch an Phosphorsäure fehlen könnte.

Es war vorauszusehen, daß die Düngung dieser älteren Bestände nicht schnell ein Resultat erkennen lassen würde. Eine Beobachtung des Höhenwachstums der Bäume von unten war schwierig oder unausführbar; mit Sicherheit konnte nur darauf gerechnet werden, ein Resultat zu erhalten, wenn nach einem längeren Zeitraum die Bäume umgeschlagen und entsprechende Messungen vorgenommen würden.

Um aber auch für ältere Bäume schneller ein Resultat zu erhalten, wurden im Jahre 1909 drei Fichten-Anflugshorste in der Oberförsterei Grund in die Untersuchung hineingezogen. Der erste, d. h. der der Hütte am nächsten liegende Anflugsort befindet sich etwa 1/2 Kilometer von der Hütte entfernt und liegt mitten in einer mit Heide bestandenen Fläche; die Waldgrenze liegt noch ein ziemliches Stück zurück. Die Bäume waren niedrig, etwa mannshoch oder darunter, nur drei höher, ihr jährlicher Höhentrieb war sehr kurz, schwankte zwischen 15 und 3 cm; sie waren sehr in die Breite gegangen, woran schon zu erkennen war, daß ihre Ernährungsverhältnisse nicht die günstigsten waren, doch sahen die durchgängig kurzen Nadeln kräftig aus, hatten aber einen gelblichen Farbenton. Wie alt die Bäume waren, wurde nicht festgestellt. Die zweite Versuchsfläche liegt unmittelbar vor dem geschlossenen Walde, ungefähr da, wo unsere Abbildung 1 aufhört. Die Bäume waren höher als auf der ersten Versuchsfläche, etwa 35 Jahre alt, aber von verschiedener Höhe; sie standen auch dichter. Ihr Höhentrieb war auch nur kurz, etwa 15 cm, doch hatten sie normalen Habitus. Die dritte Versuchsfläche liegt etwa 1,5 km von der Hütte entfernt vor dem Walde, sich unmittelbar an ihn anschließend und den Fußweg flankierend, der von Grund über den „Stillen See“ nach der Eisenbahnstation „Silbernaal“ führt. Durchschnittlich sind hier die Fichten noch etwas höher als auf der Versuchsfläche 2, wenn auch von verschiedener Höhe, aber das Wachstum ist kümmerlich. Der Habitus der Fichten ist der typische. Alle drei Versuchsflächen liegen am Eichelberg, 1 und 2 in Distrikt 22, 3 in Distrikt 41.

In jedem Horste wurden 4 Ar benutzt; sie wurden von dem darauf wachsenden Unkraut befreit und etwas durchgerecht. Ein Umgraben verbot sich auch hier der flachstreichenden Wurzeln wegen. Die Hälfte der Fläche wurde jedesmal gekalkt und zwar wurden die Parzellen so gewählt, daß sie nebeneinander lagen, so daß beide in gleicher Weise vom Hüttenrauch getroffen werden

konnten; nur bei der Versuchsfläche 3 lagen die beiden Parzellen hintereinander, die gekalkte hinter der ungekalkten und zwar etwas den Abhang hinab, weil sich das hier nicht anders einrichten ließ. Die Kalkung geschah in allen drei Versuchsflächen mit fein gemahlenem Kalkstein, also mit kohlensaurem Kalk, und zwar wurden auf die 1. und 3. Parzelle je 3 Ztr., auf die 2. Parzelle 4 Ztr. auf die Fläche von 2 Ar gebracht. So gut es ging, wurde der Kalk in den Boden hineingerecht. Auf jeder dieser drei Versuchsflächen habe ich im Frühjahr 1910 sowohl auf der gekalkten wie auf der ungekalkten Parzelle einige Samen von *Ulex europaea* und *Robinia pseudacacia* ausgelegt, um aus ihrem Wachstum zu ersehen, wie die Bodenbeschaffenheit sein möchte.

Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf des Einersberges.

Auf dem Hüttenkopf des Einersberges in der Nähe des trigonometrischen Punktes wurde im Jahre 1905 die erste Versuchsfläche zum Auspflanzen und Aussäen von Pflanzen auf mit Heide bewachsenem Terrain angelegt. Es wurde eine Fläche von 49 : 7 qm hergerichtet, die Heide wurde beseitigt und der steinige Boden, so gut es ging, umgearbeitet. Diese Fläche wurde in 7 Parzellen geteilt, die so zur Hütte orientiert waren, daß sie vom Rauch in gleicher Weise getroffen wurden. Von diesen Parzellen wurden vier mit jungen Fichten bepflanzt, drei mit gelben Lupinen besät, nachdem sie folgendermaßen gedüngt worden waren. Die erste Parzelle für die Fichten blieb ungedüngt, die folgende wurde mit Kalk, die darauffolgende mit Kalk und Ammoniumsuperphosphat und die vierte nur mit Ammoniumsuperphosphat gedüngt. Hieran schloß sich eine ungedüngte Parzelle für Lupinen, dann folgte eine mit Kalkzusatz, während die dritte mit Kalk und Ammoniumsuperphosphat gedüngt wurde. Jede mit Kalk gedüngte Parzelle erhielt $^1/_2$ Ztr. Staubkalk oder Abfallkalk aus dem Kalkwerk Oker. Seinen Gehalt an CaO kann man durchschnittlich mindestens zu 70% annehmen. Es wurde durch diesen Zusatz keine vollständige Neutralisierung der Humussäure bewirkt, wie eine spätere Prüfung ergeben hat. Da jede Vorstellung über die Beschaffenheit des Bodens fehlte, es also möglich war, daß der Boden an Stickstoff, vielleicht auch an Phosphor Mangel litt, so wurde mit Ammoniumsuperphosphat gedüngt, wie bei dem 70jährigen Fichtenstangenholz. Ja es war nicht ausgeschlossen, daß das Ausschlaggebende

nicht der Kalkmangel, sondern der Stickstoffmangel sein mochte. Es wurde deshalb, um ganz sicher zu gehen, je eine Parzelle nur mit Ammoniumsuperphosphat gedüngt. Auch die Aussaaten der Lupinen geschahen mit Rücksicht auf den Gedanken, daß die Pflanzen außer Kalk auch an Stickstoff Mangel leiden möchten. Es schwebte mir der Gedanke vor, daß infolge der Entkalkung des Bodens dieser auch an Stickstoffgehalt eingebüßt haben könnte, so daß eine Aufforstung solcher Flächen nur unter Zuführung einer Stickstoffdüngung zum Boden möglich sein würde. Im Walde würde aber am leichtesten eine Stickstoffdüngung durch Anbau von Leguminosen zu schaffen sein, da unter den Unkräutern viele Leguminosen sind. Aus diesem Grunde wurden 1905 die Lupinen und in den folgenden Jahren eine Reihe anderer Leguminosen ausgesät, als die Versuchsfläche 1906 vergrößert worden war.

Schon die Ergebnisse des ersten Jahres, auf die später näher eingegangen werden wird, machten es wünschenswert, die Versuchsfläche zu vergrößern. Sie wurde im Frühjahr 1906 auf 2800 qm erweitert. Die Bearbeitung der Fläche geschah in derselben Weise wie die der vorjährigen. 1500 qm wurden mit Staubkalk, 1 Ztr. auf 1 Ar, gedüngt, mit jungen Fichten bepflanzt und in 15 Parzellen zu 100 qm eingeteilt. Jede Parzelle wurde zur Hälfte mit einer Leguminosenart besät. Es sollte hierdurch festgestellt werden, ob die Fichten zusammen mit den Leguminosen besser gediehen als die Fichten ohne diese. Gleichzeitig sollte ermittelt werden, welche der ausgesäten Leguminosen sich am besten als Stickstofflieferant für die Fichten eignen würde. Es wurden einjährige und ausdauernde Leguminosen, Unkräuter und Kulturpflanzen und zwar folgende Arten ausgesät: *Vicia cracca, V. sativa, V. villosa, Genista germanica, G. tinctoria, Pisum arvense, P. sativum, Orobus niger, Lathyrus sylvestris, L. pratensis, Lupinus angustifolius, L. perennis, Phaseolus vulgaris.*

Ferner wurde auf anderen 750 qm der vorjährige Versuch mit Lupinen mit *Vicia sativa, V. villosa, Pisum sativum, P. arvense, Phaseolus vulgaris* wiederholt. Je 150 qm wurden in drei gleiche Parzellen geteilt und mit einer dieser Arten besät, nachdem die eine Parzelle mit Kalk, die zweite mit Kalk und Ammoniumsuperphosphat, die dritte gar nicht gedüngt worden war. Die Lupinenparzellen des Vorjahres wurden von neuem mit gelben Lupinen besät. Außerdem wurden auf der neuen Fläche Besenstrauch *(Spartium scoparium)* auf gekalkter und ungekalkter Parzelle ausgesät.

Im folgenden Jahre wurden keine neuen Aussaaten oder Auspflanzungen gemacht, wohl aber im Frühjahr 1908. Da inzwischen die auf der Versuchsfläche 1905 ausgepflanzten Fichten ein positives Ergebnis geliefert hatten, war es erwünscht zu sehen, wie sich eine Reihe von Holzgewächsen verhielt, wenn sie ausgesät wurden, da zu erwarten war, daß durch Aussaaten schneller ein entscheidendes Urteil über das Wachstum der Pflanzen erzielt werden würde als durch Auspflanzen, wo mehrere Jahre darüber hingehen, bis die Entscheidung fällt. Es wurden auf einer gekalkten und ungekalkten Partie der Versuchsfläche von 1906 folgende Saaten ausgelegt: *Picea excelsa* (Fichte), *Pinus sylvetris* (Kiefer), *Pinus montana* (Krummholzkiefer), *Quercus Robur* (Deutsche Eiche), *Fagus sylvatica* (Rotbuche) und *Betula alba* (Birke). Außerdem wurden auch noch *Vicia villosa* und *V. sativa* ausgesät. Mit Ausnahme von Birke, die breitwürfig ausgesät wurde, wurden die Samen in Reihen ausgelegt, die sich von der gekalkten über die ungekalkte Parzelle erstreckten.

Um dieselbe Zeit wurde noch ein anderer Versuch eingeleitet. Die bisherigen Untersuchungen hatten ergeben, daß mit Ausnahme einiger Lupinen auf den gekalkten Parzellen an den Leguminosenwurzeln keine Knöllchen aufgetreten waren. Es schienen also die Knöllchenbakterien zu fehlen; es sollte deshalb versucht werden, sie dem Boden durch Impfung zuzuführen. Es wurden mit Nitragin geimpfte Samen von *Lupinus luteus* und *Phaseolus vulgaris* auf gekalktem und ungekalktem Boden ausgesät, gleichzeitig des Vergleichs halber auch ungeimpftes Material. Die Lupinen wurden auf den alten Lupinenparzellen von 1905, die Bohnen auf der Fläche von 1906 ausgesät.

Da der Impfversuch mit *Phaseolus* ein positives Ergebnis geliefert hatte, wurden im folgenden Jahre an derselben Stelle wiederum Bohnen ausgesät, um zu sehen, ob die Impfung nachwirkte. Es war eine andere Varietät als im Vorjahre gewählt worden. Ebenso waren auch 1909 wieder Lupinen ausgesät worden. Wie sich aber bei der Besichtigung im August des Jahres herausstellte, hatte der Händler an Stelle von *Lupinus luteus* Samen von *L. angustifolius* geliefert.

Die neuen Versuchsflächen im Einersberge.

Durch die Versuche auf dem Hüttenkopf war, wie aus der Mitteilung der Versuchsergebnisse hervorgehen wird, die zu prüfende

Frage dahin entschieden, daß dem Boden der ausreichende Kalk fehlte, und daß nur bei Zusatz von Kalk auf dem Boden der Versuchsfläche Pflanzenwachstum zu erzielen war. Es ermutigten diese Versuchsergebnisse, auch die Frage zu entscheiden, ob mit zunehmender Entfernung von der Hütte, entsprechend der Besserung der Vegetation, auch eine Besserung der ausgepflanzten und ausgesäten Gewächse mit und ohne Kalkzusatz auftritt. Es wurden deshalb die bereits oben beschriebenen Versuchsflächen auf drei in das Innerstetal vorspringenden Rücken des Einersberges angelegt. Die erste dieser Flächen liegt ungefähr in der Entfernung von 500, die zweite von 900 und die dritte von 1300 m. Die Lage der zweiten Versuchsfläche ist aus der Abbildung 3 zu ersehen, die erste ist auf der Abbildung 2 als eine kleine weiße Linie kenntlich. Sie liegt etwas horizontaler als die zweite Fläche; und die dritte hat etwa die Lage der zweiten. Es war beabsichtigt, auf diesen Flächen verschiedene Holzarten auszupflanzen, um so einen kleinen Bestand zu erziehen, wenigstens, soweit die Gewächse auf der gekalkten Parzelle wuchsen. Dazwischen sollten die Samen einer Reihe von Gewächsen ausgesät werden, um die auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf gesammelten Erfahrungen noch zu vermehren. Infolge eines Mißverständnisses wurden im Frühjahr nur die Samen ausgesät. Es wurden dann die Pflanzen im folgenden Jahre ausgepflanzt, wozu es notwendig war, die ursprünglichen Flächen von 6 Ar zu vergrößern. Von der ursprünglichen Fläche war die eine Hälfte gekalkt worden und zwar mit 1 Ztr. fein gemahlenen Kalksteins auf 1 Ar. Auf der Abbildung 3 ist auch die ursprüngliche Fläche noch zu erkennen, die weiße Partie und der Streifen mit Reihen rechts davon, während die Partie links davon im Frühjahr 1910 dazu genommen worden ist. Dieser Streifen wurde gekalkt und mit Bäumen bepflanzt, während die anderen Bäume auf die alte ungekalkte Parzelle gepflanzt wurden, wo ausreichend Platz war, da die gesäten Pflanzen gar nicht oder nur mangelhaft gekommen waren, auch wurden auf dem ungekalkten Boden weniger Exemplare ausgepflanzt, weil erwartet werden konnte, daß hier die Bäume doch kein langes Leben haben würden. So wurde auf allen drei Versuchsflächen verfahren. Aus der Abbildung 3 ist schon ersichtlich, daß die Samen im Jahre 1909 in Reihen ausgesät worden waren, die auf der gekalkten und ungekalkten Parzelle gleich lang waren. Die beiden Parzellen waren durch einen Weg getrennt.

Auf der zweiten Versuchsfläche wurde die Heide und auf der dritten das Gras entfernt, dann wurden alle drei Versuchsflächen umgearbeitet und entsprechend gekalkt, darauf 1909 mit Fichte, Kiefer, Krummholzkiefer, Bergahorn, Eiche, Rotbuche, Birke, Stachelginster *(Ulex europaeus)*, Bohne *(Phaseolus vulgaris)* und Lupine besät. Als Lupine sollte die gelbe ausgesät werden, aber aus denselben Gründen wie oben bei der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf war *Lupinus angustifolius* ausgesät worden. Die Bohne hatte ich gewählt als Fangpflanze nach Sorauer, und die Lupinen sollten mir Material liefern, um einen eventuellen Gehalt der Blätter an Schwefeldioxyd nachweisen zu können.

Im folgenden Frühjahr wurden ausgepflanzt: Eiche, Bergahorn, Birke, Bergkiefer und Kiefer, und ausgesät: Bergahorn, Spitzahorn, Schwarzerle *(Alnus glutinosa)*, Birke, da im vorigen Jahr keine Pflanzen aus der Saat gekommen waren, Hainbuche *(Carpinus betulus)*, Esche *(Fraxinus excelsior)*, Akazie *(Robinia pseudacacia)*, Besenginster *(Spartium scoparium)* und die gelbe Lupine *(Lupinus luteus)*. Die Samen wurden mit Ausnahme von Birke, Stachelginster, Bohne und den beiden Lupinenarten, die breitwürfig ausgesät wurden, in Reihen ausgesät. Die Reihen sind auf der rechten Seite der Versuchsfläche auf der Abbildung 3 zu erkennen. Die Bäume waren ziemlich dicht gepflanzt worden, damit sie sich gegenseitig gegen die austrocknende Wirkung des Windes schützen möchten.

c) Ergebnisse der Versuche.

Von der Kalkung der älteren Bestände kann erst nach einigen Jahren ein Ergebnis erwartet werden, wenn die Bäume umgeschlagen werden, da von unten aus nicht mit Sicherheit zu beobachten ist, ob sich das Höhenwachstum bessert.

Ein brauchbares Ergebnis hingegen haben in der kurzen Zeit schon die Anflugshorste in der Oberförsterei Grund geliefert. Bei der Besichtigung im August 1911 zeigte sich, daß auf den drei Flächen auf der gekalkten Parzelle, wenn auch nicht alle Exemplare, doch die meisten einen größeren Höhentrieb gebildet hatten als auf den ungekalkten Parzellen. Der gelbliche Ton, den früher die Fichten auf der ersten Parzelle hatten, war so gut wie verschwunden. Auf der zweiten Fläche hatten einige der Fichten auf der ungekalkten Parzelle gelbliche Nadeln, während die gekalkten Exemplare durchweg normal grün gefärbt waren. Bei der dritten

Versuchsfläche war die Färbung auf beiden Parzellen durchweg grün. Es ist also möglich, daß die Farbentöne der Fichten auf der zweiten Parzelle einem Zufall zu verdanken sind; in dem größeren Höhentriebe spricht sich aber unverkennbar eine Einwirkung der Kalkung aus.

1. Die Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf.

Im Herbst 1905 konnte ich die Versuchsfläche nicht besuchen, um mich von dem Stand der Pflanzen zu überzeugen. Nach der Mitteilung der Forstbeamten hatten sich an den Blättern der Lupinen und den Nadeln der Fichten keine Rauchschäden gezeigt. Ein Unterschied in der Entwicklung der Fichten auf den verschiedenen Parzellen trat nicht hervor. Von den Lupinen sollen auf der ungekalkten Parzelle gar keine Exemplare gekommen sein, auf den gekalkten Parzellen waren die Exemplare ca 25 cm hoch geworden, hatten geblüht und würden auch gefruchtet haben, wenn sie zeitiger ausgesät worden wären. Die Stickstoffdüngung hatte keinen Einfluß auf die Lupinen gehabt. Nach dem Verhalten der Lupinen zu urteilen, war es unwahrscheinlich, daß die Bodenbeschaffenheit ohne Einfluß auf die Entwicklung der Fichte bleiben sollte. Holzgewächse reagieren nicht so schnell auf ungünstige äußere Einflüsse wie einjährige Pflanzen; es war deshalb zu erwarten, daß mit der Zeit die ungekalkten Exemplare leiden würden, und diese Erwartung ist auch nicht getäuscht worden. Bei der Besichtigung am 5. Juni 1906 machte es den Eindruck, als ob die Fichten auf den gekalkten Parzellen frischer und kräftiger aussahen als auf den ungekalkten. Am 4. September des Jahres hätte der Unterschied noch deutlicher hervortreten müssen, doch war eine Erscheinung eingetreten, die das nicht erkennen ließ. Die sowohl 1905 wie die 1906 gepflanzten Fichten waren mehr oder weniger stark an den Nadeln beschädigt, während Wurzeln, Rinde und Knospen unversehrt waren. Die Nadeln waren rot gefärbt und zum Teil abgefallen, so daß man wohl annehmen konnte, daß hier starke Rauchschäden vorlagen. Diese Erscheinung ist nur in dem einen Jahr aufgetreten. Auch haben niemals die Leguminosen, selbst nicht einmal die als sehr empfindlich von Sorauer für den Fangpflanzenbau empfohlene Bohne irgend welche Anzeichen von Rauchschaden erkennen lassen. Da sich aber ein Vertrocknen der Nadeln in derselben Weise äußert wie eine Beschädigung durch

saure Gase, die Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf gegen Sonne und Wind sehr exponiert liegt, so ist jene Erscheinung aller Wahrscheinlichkeit nach ein Vertrocknungsvorgang gewesen, wofür auch der Umstand spricht, daß die Erscheinung nach einer längeren Trockenperiode aufgetreten ist. Auch fanden sich unter den Lupinen sowohl auf der ungekalkten wie der gekalkten Parzelle eine größere Zahl von Exemplaren, die tatsächlich vertrocknet waren. Gleich an dieser Stelle will ich erwähnen, daß ich niemals irgend welche Säurebeschädigungen an den Blattorganen auf den drei neuen Versuchsflächen und in den drei Anflugshorsten wahrgenommen habe.

Im September des folgenden Jahres trat ein deutlicher Unterschied zwischen den Fichten von den gekalkten und ungekalkten Parzellen hervor. Auf den gekalkten Parzellen hatten die Exemplare normale Triebe gebildet, auf den ungekalkten waren sie erheblich kleiner geblieben. Das Ammoniumsuperphosphat hatte nur bei den ungekalkten Exemplaren gewirkt und ihr Wachstum etwas begünstigt. Die gekalkten Exemplare waren normal grün, die ungekalkten Exemplare hatten einen gelblichen Farbenton. Die Fichten von der Versuchsfläche 1906 hatten sich entsprechend normal entwickelt.

Im Frühjahr 1908, am 31. Mai, war der Unterschied zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren noch viel augenfälliger. Auf den ungekalkten Parzellen waren fast alle Exemplare tot, auf den gekalkten Parzellen standen sie gut und hatten sich normal weiter entwickelt. Ein Unterschied zwischen den mit Stickstoff und ohne Stickstoff gedüngten trat nicht hervor, auch in den folgenden Jahren nicht. Wohl aber zeigte sich im Sommer 1911, daß die Exemplare auf der Parzelle, welche nur Kalk bekommen hatte, etwas schlechter standen als auf der Parzelle, die außerdem noch mit Ammoniumsuperphosphat gedüngt worden war. Das deutet darauf hin, daß dem Boden auch noch andere Stoffe entzogen worden sind. Durch diesen Versuch ist aber jedenfalls bewiesen, daß der Kalk im Boden fehlt, und daß ohne ihn die Zufuhr von Stickstoff und Phosphorsäure dauernd keinen wachstumsfördernden Einfluß ausübt.

Das Verhalten der Leguminosen.

Auf der ungekalkten Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf fanden sich einige Exemplare der gelben Lupine. Sie hatten eine Höhe von 10—15 cm und kurze, sehr wenig verzweigte

Wurzeln, so daß sie nur locker im Boden saßen, woraus sich ihr leichtes Vertrocknen erklärte. Sie hatten nicht geblüht und trugen auch keine Knöllchen an ihren Wurzeln. Auf den gekalkten Parzellen waren die Exemplare 20—30 cm hoch geworden, hatten geblüht und gefruchtet. Wie ein Vergleich der beiden Abbildungen 4 und 5 zeigt, war ihr Wurzelsystem viel verzweigter, die einzelnen Wurzeln viel länger als bei den ungekalkten Exemplaren, so daß sie bedeutend fester im Boden hafteten. Sie trugen mehrere Hülsen von 3—4,5 cm Länge. Durch Ammoniumsuperphosphat ist die Entwicklung der Lupinen nicht wesentlich begünstigt worden. Bakterienknöllchen traten an den gekalkten Exemplaren nur vereinzelt auf. Auch unter diesen kamen vertrocknete Exemplare vor.

Die im Jahre 1906 ausgeführten analogen Versuche mit *Vicia villosa*, *V. sativa*, *Pisum sativum*, *P. arvense* und *Phaseolus vulgaris* lieferten folgende Ergebnisse: Auf den ungekalkten Parzellen waren gar keine Pflanzen gekommen, auf den gekalkten Parzellen waren die Pflanzen gekommen. Eine fördernde Wirkung des Zusatzes von Ammoniumsuperphosphat zum gekalkten Boden war mit Sicherheit nicht zu erkennen. Bakterienknöllchen fehlten überall. Die Pflanzen auf den gekalkten Parzellen sahen folgendermaßen aus:

Vicia villosa: Die Pflanzen waren klein, blühten spärlich und schienen weniger reichlich auf der mit Kalk und Ammoniumsuperphosphat gedüngten als auf der mit Kalk gedüngten Parzelle gekommen zu sein.

Vicia sativa: Es waren zahlreiche, reichlich blühende Pflanzen gekommen. Ihre Zahl war größer auf der mit Kalk als auf der mit Kalk und Ammoniumsuperphosphat gedüngten Parzelle.

Pisum sativum: Zahlreiche Pflanzen auf beiden gekalkten Parzellen, zum Teil blühten sie noch, zum Teil fruktifizierten sie bereits bei der Besichtigung am 4. September.

Pisum arvense: Die Pflanzen waren verhältnismäßig groß, blühten und fruchteten auf beiden gekalkten Parzellen reichlich.

Phaseolus vulgaris: Auf beiden gekalkten Parzellen waren reichlich Pflanzen gewachsen, die schöne, 6—9 cm lange Hülsen gebildet hatten. Die Stengel waren niedrig, nur 15—30 cm hoch, die Blätter verhältnismäßig klein. Die Größe des Wurzelsystems entsprach der Entfaltung der oberirdischen Teile. Die Bohnen machten den Eindruck, als ob die Pflanzen an einem für ihre Entwicklung ungeeigneten Standort ständen.

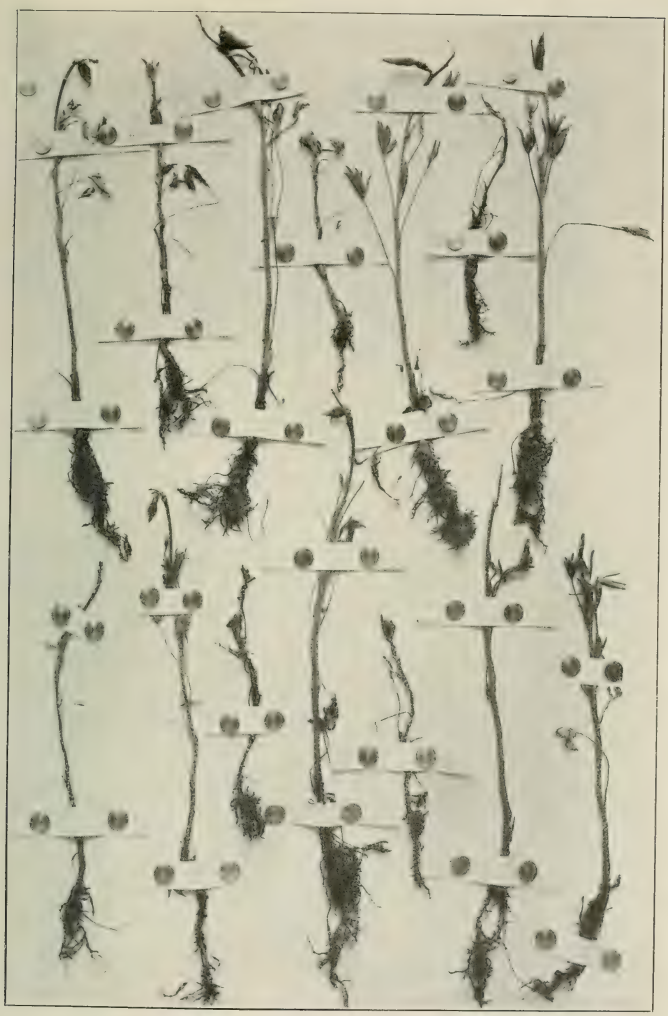


Abb. 4.
Gelbe Lupinen von der ungekalkten Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. 1906. Vergr. 2 : 5.

Das Verhalten der unter den Fichten auf den gekalkten Flächen ausgesäten Leguminosen war das gleiche. *Vicia villosa*

Abb. 5.
Gelbe Lupinen von der gekalkten Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. 1906. Vergr. 1 : 3.

hatte kleine Exemplare hervorgebracht, von denen nur vereinzelte blühten; *V. sativa* hingegen blühte reichlich. Von *Pisum arvense*

waren wenige, sehr kleine, blühende Exemplare gekommen. *P. sativum* war gut gekommen, hatte geblüht und Früchte getragen. *Phaseolus vulgaris* hatte sich hier ebenso, wie oben beschrieben, verhalten, nur waren weniger Exemplare vorhanden. Von den übrigen unter den Fichten ausgesäten Leguminosen waren nicht gekommen *Vicia cracca, Orobus niger* und *Lathyrus pratensis.* Von *Genista germanica, G. tinctoria* und *Lathyrus sylvestris* waren nur wenige und obendrein kleine Exemplare vorhanden. Die mit *Lupinus angustifolius* besäte Parzelle war gleichmäßig mit Pflanzen bestanden, die abgeblüht und Früchte angesetzt hatten. *Lupinus perennis* war in einer großen Zahl von kleinen Exemplaren vertreten. *Spartium scoparium* war sowohl auf der ungekalkten wie gekalkten Parzelle gewachsen, doch auf der gekalkten erheblich besser. Eine genaue Beobachtung des Verhaltens dieser Pflanze bereitete in der Folgezeit Schwierigkeit, weil die Exemplare im Winter stets von den Hasen verbissen wurden.

Da alle unter den Fichten ausgesäten Leguminosen keine Knöllchen gebildet hatten, so konnten sie die betreffenden Parzellen auch nicht an Stickstoff anreichern. In der Entwicklung der Fichten auf den Parzellen mit und ohne Leguminosen ließen sich demnach keine Unterschiede feststellen.

Alle Leguminosen auf dem gekalkten Boden sahen frisch und gesund aus, wenn auch von einer üppigen Entwicklung nicht die Rede sein konnte. Dafür war unverkennbar die Bodenbeschaffenheit nicht geeignet, handelte es sich doch zum Teil um anspruchsvollere Gewächse, die im Garten oder auf dem Felde gezogen werden. Daß aber auf dem ungekalkten Boden mit Ausnahme der gelben Lupine und des Besenstrauchs nichts gekommen war, und erstere auch nur kümmerlich, deutete auf hohe Kalkarmut des Bodens hin. Vermutlich würden sich auch auf diesem Boden alle Leguminosen üppiger und kräftiger entwickelt haben, wenn der Kalkzusatz höher bemessen worden wäre. Dieser ist aber mit Rücksicht auf die Holzgewächse, die ausgepflanzt werden sollten, gewählt worden. Da diese sich mit einem geringeren Kalkgehalt im Boden begnügen und man bei Beginn der Versuche über den Kalkgehalt des Bodens ganz im Dunkeln tappte, so schien ein Zusatz von 1 Ztr. Staubkalk zum Boden auf 1 Ar ein angemessener Betrag zu sein. Hierdurch wurde der Gehalt des Bodens um ungefähr 0,1 % gesteigert, was bei einem ursprünglichen Gehalt an

Kalk von 0,012%, wie die später ausgeführte Analyse ergab, ein ansehnlicher Zuschuß war.

Im Jahre 1907, im Herbste, waren von den ausdauernden Leguminosen *Genista germanica, G. tinctoria, Vicia sativa, Lathyrus sylvestris* und *Lupinus perennis* vorhanden. Die letztere Pflanze blühte und fruchtete. Die Exemplare von *Genista tinctoria* waren ziemlich groß, wenn auch von wechselnder Höhe, und kräftig. Einige Messungen ergaben Werte von 28, 46 und 55 cm für die Höhe der oberirdischen Teile, und ähnliche Größenverhältnisse hatten auch die Exemplare von *Genista germanica*, während bei *Lathyrus sylvestris* die Höhe der Stengel zwischen 10 und 15 cm schwankte. Die Wurzelsysteme waren groß und kräftig. Die Pflanzen hatten auch in diesem Jahre keine Knöllchen. Auf der alten Lupinenfläche waren wieder einige Exemplare gekommen, die von übergelegenem Samen oder aus den Früchten der vorjährigen Lupinen stammten. An einigen dieser Exemplare waren Knöllchen vorhanden.

Die Besichtigung im Jahre 1908 fand erst am 13. Oktober statt; es konnten deshalb nur noch über den Impfversuch an *Phaseolus vulgaris* Beobachtungen gemacht werden, weil die Lupinen bereits abgestorben waren. Auf diese letzteren war ohnehin ein geringeres Gewicht zu legen, da ja schon ohne Impfung Knöllchen an einzelnen Exemplaren auftraten. Der Versuch mit den Bohnen ergab Folgendes: Auf dem ungekalkten Boden waren kümmerliche Exemplare gekommen; die geimpften hatten sich, ohne Knöllchen zu bilden, etwas besser entwickelt als die ungeimpften. Von diesen letzteren wurden 3 Exemplare gemessen. Ihr oberirdischer Teil hatte eine Länge von 9, 10, 12,5 cm, die Wurzeln von 3,5 cm. Sie hatten ein klumpiges Aussehen (vergl. Abb. 36). Die Stengel der gemessenen geimpften Exemplare waren hoch: 11, 15, 17, 17,5, 18,5 cm. Auch das Wurzelsystem war etwas größer und verzweigter als bei den ungeimpften, hatte aber auch denselben klumpigen Charakter. Die Länge betrug 3—5 cm (vergl. Abb. 35). Auf den gekalkten Parzellen sind die Pflanzen erheblich größer geworden. Die ungeimpften Pflanzen hatten eine Stengellänge von 20—40 cm mit entsprechender Wurzellänge von 12—28 cm. Die Wurzelsysteme waren kräftig und reichlich verzweigt. Die geimpften Exemplare sind aber noch erheblich größer geworden. Die Stengel hatten sich gegenseitig umschlungen. Die Pflanzen hatten einschließlich des Wurzelsystems eine Höhe

Abb. 6.
Phaseolus vulgaris L. von der gekalkten Parzelle auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Geimpft. Herausgenommen am 14. Oktober 1908. Verg. ca. 2 : 9.

von $^3/_4$ m erreicht (vergl. Abb. 6). Dies war bis 15 cm lang geworden und war reichlich verzweigt. Die Wurzeln trugen eine große Zahl von Knöllchen. Einzelne derselben sind auf unserer Abbildung erkennbar. An den Pflanzen auf den anderen Parzellen waren keine Knöllchen gekommen, auch nicht an den geimpften Exemplaren auf der ungekalkten Parzelle.

Diese Impfung des Bodens hatte eine Nachwirkung gehabt. Als im folgenden Jahre auf die geimpfte und gekalkte Parzelle wieder Bohnen, wenn auch von einer anderen Varietät ausgesät wurden, hatten die Pflanzen, welche freilich schlecht gekommen waren, fast alle Knöllchen.

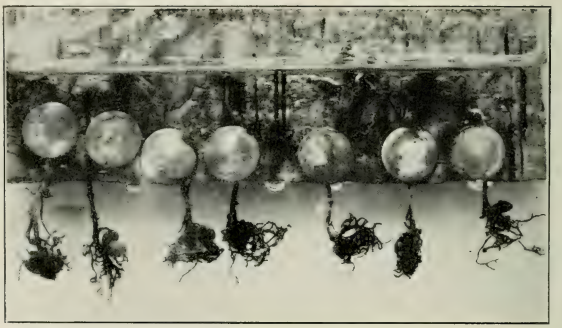


Abb. 7.
Vicia villosa L. von der ungekalkten Parzelle auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Wurzelsystem. Herausgenommen am 14. Oktober 1908. 1 : 1.

In demselben Jahre war auf die Lupinenparzellen *Lupinus angustifolius* ausgesät worden. Die Pflanzen standen sehr schlecht auf den gekalkten Parzellen, während sie auf der ungekalkten überhaupt nicht gekommen waren, aber fast alle Exemplare besaßen Knöllchen. Dieser Erfolg ist wahrscheinlich auch auf die vorjährige Lupinenimpfung zurückzuführen.

Über die ausdauernden Leguminosen wurde im Jahre 1909 festgestellt, daß *Spartium scoparium*, *Lupinus perennis* und *Vicia sativa* vorhanden waren. Der Besenstrauch stand auf der gekalkten Parzelle gut, auf der ungekalkten war er nur spärlich vorhanden. An den Wurzeln hatten die gekalkten Exemplare Knöllchen. Die Lupinen waren ganz kräftige Pflanzen mit schönen Knöllchen

an den Wurzeln. Die Wicken waren weniger kräftig, hatten auch Knöllchen an den Wurzeln, aber weniger reichlich als die Lupinen.

Es mögen hier noch die Beobachtungen über *Vicia villosa* und *V. sativa*, die 1908 zum Studium des Wurzelsystems ausgesät worden waren, mitgeteilt werden. Die Pflanzen waren sowohl auf dem gekalkten wie ungekalkten Boden gekommen, auf letzterem aber kümmerlich. Bei *Vicia villosa* hatten die ungekalkten Exemplare einschließlich des Wurzelsystems eine Größe von 5 cm (vergl. Abb. 7, die das Wurzelsystem in natürlicher Größe wiedergibt).

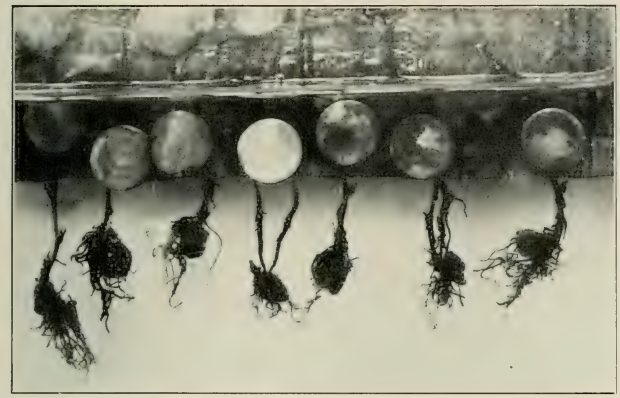


Abb. 8.

Vicia sativa L. von der ungekalkten Parzelle auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Wurzelsystem. Herausgenommen am 14. Oktober 1908. 1 : 1.

Auf dem gekalkten Boden waren die Exemplare 10—23 cm groß geworden mit einem großen und ausgebreiteten Wurzelsystem. Ähnlich verhielt sich *Vicia sativa*. Auf der ungekalkten Parzelle hatten die Pflanzen einschließlich der Wurzel eine Länge von 5—9 cm (vergl. Abb. 8, in natürlicher Größe), auf dem gekalkten Boden eine solche von 12—24 cm. Bei den letzteren Pflanzen war das Wurzelsystem groß, selbst wenn der oberirdische Teil nur klein war. Knöllchen waren auch bei den gekalkten Exemplaren nicht aufgetreten.

Die ausgesäten Holzgewächse.

Von den 1908 im Frühjahr ausgesäten Samen von Holzgewächsen waren Eiche, Buche und Birke nicht gekommen, wahrscheinlich, weil die Samen nichts taugten. Fichte, Kiefer und Bergkiefer lieferten folgendes Ergebnis:

Fichte: Der Unterschied in den Größenverhältnissen der oberirdischen Teile der Fichten zwischen gekalkten und ungekalkten Exemplaren war nicht sehr bedeutend, dagegen in der Entwicklung der Wurzeln sehr beträchtlich, wie aus dem Vergleich der Abbildungen 28 und 29, die in natürlicher Größe aufgenommen worden sind, hervorgeht. Die ungekalkten Pflanzen hatten nur die allergeringsten Anfänge eines Wurzelsystems, während die gekalkten Exemplare ein wohl ausgebildetes Wurzelsystem besaßen.

Kiefer (Abb. 9): Das Verhältnis zwischen den gekalkten und ungekalkten Exemplaren ist im wesentlichen das gleiche wie bei der Fichte, nur ist die Entwicklung des Wurzelsystems schon auf dem ungekalkten Boden etwas ausgiebiger, die Verzweigungen sind viel reichlicher als bei der ungekalkten Fichte, obgleich sie hinter denen der Fichte auf dem gekalkten Boden an Ausgiebigkeit und Größe stark zurücktreten.

Bergkiefer: Bei dieser Art ist das Wurzelsystem der ungekalkten Exemplare noch größer und verzweigter als bei der Kiefer. Auf gekalktem Boden ist auch hier wie bei Fichte und Kiefer das Wurzelsystem größer und verzweigter als auf der ungekalkten Parzelle, was die beiden Abbildungen 33 und 34 in natürlicher Größe zeigen.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß der mit Heide bewachsene Boden auf dem Hüttenkopf unfähig ist, andere Pflanzen als Heide zu tragen, weil sein Kalkgehalt zu gering ist. Die auf ihm gepflanzten Fichten sterben ab und die ausgesäten Leguminosen und Nadelhölzer kommen entweder gar nicht zur Entwicklung oder nur sehr kümmerlich und gehen bald zugrunde, während auf Zusatz von Kalk alle Pflanzen gedeihen. Die Knöllchenbakterien fehlen ganz oder sind nur in verschwindender Zahl vorhanden, vermehren sich aber im Laufe der Jahre auf dem gekalkten Boden. Soweit Knöllchen vorhanden sind, finden sie sich nur an Exemplaren auf gekalktem Boden. Auch die Unkrautflora hat sich mit Ausnahme der Heide ausschließlich auf den gekalkten

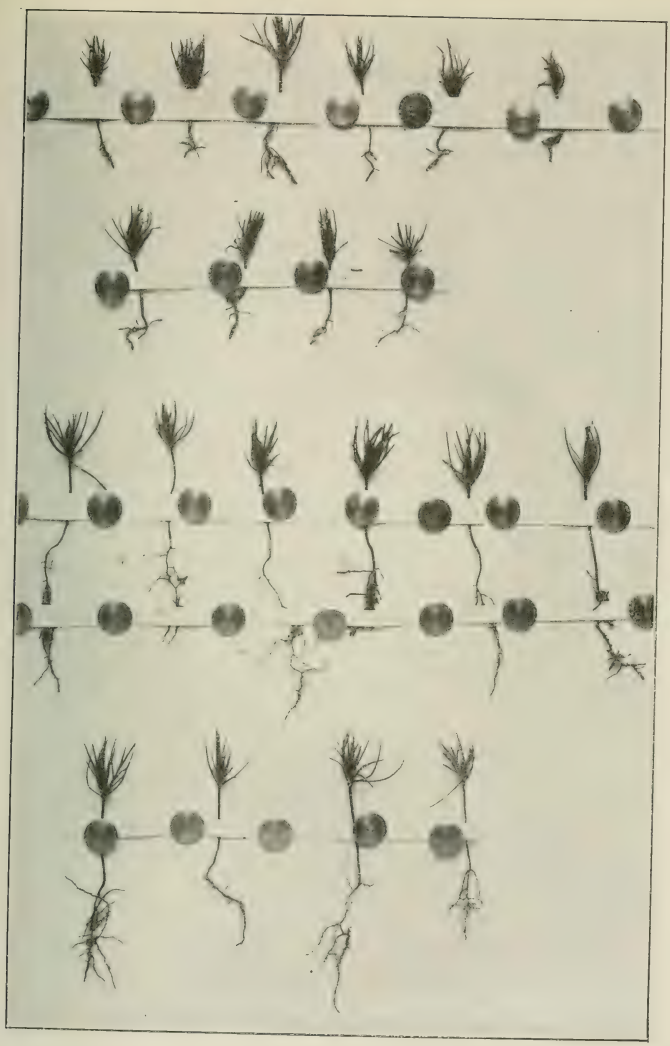


Abb. 9.
Pinus sylvestris L. von der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Einjährig. 1. und 2. Reihe: ungekalkt; 3. und 4. Reihe: gekalkt. Herausgenommen am 14. Oktober 1908. Vergr. 13 : 20.

Flächen angesiedelt: *Salix caprea, Rubus, Scrophularia, Chrysanthemum, Rumex, Polygonum, Digitalis purpurea, Galium, Epilobium angustifolium, Sambucus, Tussilago Farfara, Veronica officinalis, Matricaria Chamomilla, Raphanus, Avena, Aira flexuosa, Scirpus, Calluna vulgaris.* Eine Bestimmung der Arten war vielfach nicht möglich, ist auch für den vorliegenden Zweck belanglos.

2. Die drei neuen Versuchsflächen im Einersberge.

aa) Die ausgesäten Pflanzen.

Fichte: Auf der ersten Versuchsfläche waren nach der Aussaat 1909 sowohl auf der ungekalkten wie auf der gekalkten Parzelle Pflänzchen gekommen, doch waren sie auf der ungekalkten Parzelle am 26. August bei der Besichtigung meistens schon verschwunden; im folgenden Jahre war nichts mehr von ihnen vorhanden. Auf der gekalkten Parzelle standen die Pflanzen im ersten Jahre gut und bildeten geschlossene Reihen. In den folgenden Jahren wuchsen sie normal weiter, ohne daß ein Verlust an Exemplaren zu beklagen war; im dritten Jahre hatten die Nadeln teilweise einen gelblichen Farbenton. Einige Exemplare wurden herausgenommen und ihre oberirdischen Teile gemessen. Im Durchschnitt von vier Exemplaren betrug die Höhe 10,5 cm. Die Länge der Nadeln schwankte zwischen 15 und 25 mm, das Wurzelsystem war ziemlich verzweigt, drang aber nicht tiefer als 10 cm in den Boden ein.

Auf der zweiten Versuchsfläche standen am 26. August 1909 die Exemplare auf dem gekalkten Boden in lückenlosen Reihen, auf dem ungekalkten sehr lückenhaft. Die ungekalkten Pflanzen waren sehr klein. Im folgenden Jahr waren die Fichten vollständig vom ungekalkten Boden verschwunden, während sie auf der gekalkten Parzelle normal wuchsen. Im August 1911 wurde eine größere Zahl von Exemplaren gemessen. Sie waren sehr verschieden groß, wahrscheinlich infolge des dichten Standes in den Reihen. Die Höhe des oberirdischen Teils schwankte zwischen 7,5 und 18 cm, betrug 12,5 im Durchschnitt von 18 Exemplaren. Mit der Größe der oberirdischen Teile schwankte auch die Größe der Wurzelsysteme. Es kamen kleine, mittlere und große vor. Die Länge der Nadeln schwankte zwischen 10 und 20 mm.

Auf der dritten Versuchsfläche waren am 26. August 1909 lückenlose Reihen schön aussehender kräftiger Fichten auf der ge-

kalkten Parzelle vorhanden, auf der ungekalkten Parzelle waren die Reihen freilich auch geschlossen, aber die Exemplare waren nicht so kräftig wie auf der gekalkten Parzelle. Ein Jahr später fanden sich auf der ungekalkten Parzelle noch in jeder Reihe

Abb. 10.
Fichte. Aussaat Frühjahr 1909, herausgenommen 24. August 1910. Vergr. 1 : 8.
1. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, gekalkt; 2. Reihe: Neue Versuchsfläche 2, ungekalkt;
3. „ „ „ 2, „ 4. „ „ „ 3, „
5. Reihe: Neue Versuchsfläche 3, gekalkt.

Gruppen von Fichten, aber die Exemplare waren erheblich kleiner als die von der gekalkten Parzelle; teilweise sahen die ungekalkten Exemplare gelb aus. Auf der gekalkten Parzelle waren die Fichten

normal weiter gewachsen und standen in geschlossenen Reihen. Im August 1911 waren die Fichten bis auf einige Exemplare von der ungekalkten Parzelle verschwunden. Die Höhe der oberirdischen Teile der gekalkten Pflanzen schwankte wie auf der zweiten Versuchsfläche bedeutend, nämlich zwischen 9 und 20 cm; die durchschnittliche Höhe von 14 Exemplaren betrug 12,5 cm. Die Länge der Nadeln schwankte zwischen 9 und 20 mm, des Jahrestriebes 1911 zwischen 2,5 und 9 cm und betrug im Mittel bei 14 Exemplaren 4,8 cm.

Das Wachstum der Fichte ist überall auf dem ungekalkten Boden schlecht, am schlechtesten auf der ersten, am wenigsten

Abb. 11.
Neue Versuchsfläche 2 im Einersberge.

schlecht auf der dritten Versuchsfläche (vergl. Abb. 10 auf S. 33). Durch den Kalkzusatz ist auf allen drei Flächen ein normales Wachstum der Pflanzen erzielt worden; doch sind sie auf der ersten Versuchsfläche kleiner geblieben als auf den beiden anderen, auch haben ihre Nadeln einen gelblichen Ton angenommen. Die Exemplare von den ungekalkten Parzellen sind bald eher, bald später zugrunde gegangen, und es ist sehr wahrscheinlich, daß auch die Exemplare, welche im August 1911 noch vorhanden waren, im Laufe der Zeit gleichfalls zugrunde gehen werden.

Eine sehr gute Vorstellung von dem ungleichen Verhalten der Nadelhölzer und der Fichten insbesondere auf dem ungekalkten

und gekalkten Boden geben die Abbildungen 11 und 12, welche uns einen Einblick in zwei der Versuchsflächen gestatten. In der Mitte ist der Weg kenntlich, der sich zwischen der gekalkten, die in der einen Versuchsfläche rechts, in der anderen links vom Wege liegt, und der ungekalkten Parzelle hinzieht. Man erkennt auf den gekalkten Parzellen vollständig oder nahezu vollständig geschlossene Reihen von Nadelhölzern von ziemlich ansehnlicher Größe — handelte es sich doch um zweijährige Gewächse; auf der ungekalkten Parzelle sind nur Gruppen von kleineren Pflanzen

Abb. 12.
Neue Versuchsfläche 3 im Einersberge.

vorhanden. Vom Zaun aus gerechnet, folgen Fichten, Kiefern und Krummholzkiefern aufeinander, von jeder Pflanzenart mehrere Reihen.

Kiefer: Am 26. August 1909 waren auf der ersten Versuchsfläche die gekalkten Kiefern gut gekommen und standen in lückenlosen Reihen. Auf dem ungekalkten Boden standen die Kiefern freilich in geschlossenen Reihen, aber sie waren durchschnittlich weniger kräftig als die vom gekalkten Boden, sahen auch graublau anstatt reingrün aus. Am 24. August 1910 standen die Kiefern

auf dem gekalkten Boden sehr gut, während auf dem ungekalkten Boden nur wenige Exemplare von kümmerlichem Wuchs vorhanden waren. Die im August 1911 noch vorhandenen Exemplare auf der ungekalkten Parzelle waren sehr niedrig; ihr oberirdischer Teil, einschließlich der Nadeln, war 6,5—10,8 cm hoch, die Länge der letztjährigen Nadeln schwankte zwischen 28 und 35 mm. Dahingegen schwankte die Höhe der gekalkten Exemplare einschließlich der Nadeln zwischen 13 und 19,5 cm, die Länge ihrer Nadeln zwischen 45 und 55 mm.

Auf dem gekalkten Boden der zweiten Versuchsfläche standen am 26. August 1909 die Reihen lückenlos; auf dem ungekalkten Boden waren sie ziemlich gut geschlossen, aber die Exemplare waren kleiner als die gekalkten und sahen weniger frisch aus. Am 24. August 1910 standen sowohl die gekalkten wie ungekalkten Exemplare besser als auf der ersten Versuchsfläche, die gekalkten natürlich erheblich besser als die ungekalkten von derselben Versuchsfläche. Im August 1911 waren nur wenige kümmerliche, ungekalkte Exemplare übrig. Die Höhe dreier gekalkter Exemplare einschließlich der Nadeln betrug 16, 19, 21 cm und die Länge der letztjährigen Nadeln 45—60 mm.

Schöne, kräftige Kiefern fanden sich am 26. August 1909 auf der gekalkten Parzelle der dritten Versuchsfläche. Auf der ungekalkten Parzelle waren die Reihen freilich auch geschlossen, aber die Pflanzen waren nicht so kräftig. Ein Jahr später waren die Pflanzen auf der gekalkten Parzelle schön, kräftig, dunkelgrün und standen in geschlossenen Reihen. Auf der ungekalkten Parzelle waren die Reihen noch ziemlich gut geschlossen, aber der Größenunterschied zwischen den gekalkten und den ungekalkten Exemplaren war sehr beträchtlich; auch sahen die letzteren meistens gelblich aus. Im August 1911 standen die Kiefern auf der gekalkten Parzelle sehr gut; auf der ungekalkten Parzelle waren die Pflanzen bis auf einen kleinen Fleck, wo die Exemplare gut standen, kümmerlich mit kleinen gelben Nadeln. Sechs von den gekalkten Exemplaren wurden näher untersucht. Bei ihnen betrug die Höhe der oberirdischen Teile einschließlich der Nadeln 14, 15, 19,5, 21, 24, 25 cm. Zwei von ihnen waren unverzweigt, vier verzweigt. Die Länge der letztjährigen Nadeln war sehr ungleich, sie schwankte zwischen 44—67 mm bei den untersuchten Exemplaren.

Die Kiefer hat sich auf dem ungekalkten Boden etwas besser gehalten als die Fichte, steht aber auf allen Versuchsflächen

kümmerlich. Mit der Entfernung von der Hütte scheinen sich die Wuchsverhältnisse auf gekalktem wie ungekalktem Boden zu bessern (vergl. Abb. 13 auf S. 38).

Krummholzkiefer: Am 26. August 1909 standen die Pflanzen auf der gekalkten Parzelle der ersten Versuchsfläche in fast lückenlosen Reihen, auf der ungekalkten Parzelle waren die Reihen sehr lückenhaft; auch waren die Pflanzen weniger kräftig als die gekalkten. Im folgenden Jahre waren die Exemplare auf der gekalkten Parzelle sehr gut und kräftig, auf der ungekalkten Parzelle gering an Zahl und von kümmerlichem Wuchse. Im August 1911 standen die Krummholzkiefern auf der gekalkten Parzelle ziemlich gut, aber mäßiger als auf den beiden folgenden Versuchsflächen. Von den ungekalkten Exemplaren waren nur noch vereinzelte Horste vorhanden.

Auf der zweiten Versuchsfläche waren am 26. August 1909 die Reihen gekalkter Pflanzen lückenlos, die ungekalkter sehr lückenhaft. Am 24. August 1910 standen die Bergkiefern etwas besser als auf der ersten Versuchsfläche an diesem Termin. Ein Jahr später waren von den ungekalkten Pflanzen nur wenige kümmerliche Exemplare mit gelblichen Nadeln vorhanden, während die gekalkten Pflanzen kräftige Gewächse waren mit großem Wurzelsystem. Die Höhe ihrer oberirdischen Teile einschließlich der Nadeln betrug bei drei Exemplaren 18, 19, 20 cm; die Länge der letztjährigen Nadeln schwankte zwischen 37 und 50 mm.

Auf der gekalkten Parzelle der dritten Versuchsfläche standen die Pflanzen in lückenlosen Reihen. Auf der ungekalkten Parzelle waren die Reihen nicht so lückenlos; auch hatten die Kiefern ein kümmerliches Wurzelsystem. Am 24. August 1910 waren auf dem gekalkten Boden fast ganz geschlossene Reihen mit großen dunkelgrünen Exemplaren vorhanden; auf der ungekalkten Parzelle waren die Reihen noch ziemlich gut geschlossen mit Pflanzen von verschiedener Größe, die aber alle kleiner waren als die gekalkten Exemplare. Auch waren sie vielfach etwas gelblich. Im Jahre 1911 standen die Krummholzkiefern auf der gekalkten Parzelle sehr gut, auf der ungekalkten kümmerlich. Die ungekalkten Pflanzen hatten meistens gelbe Nadeln. Bei den gekalkten Exemplaren betrug die Höhe der oberirdischen Teile einschließlich der Nadeln bei 5 Exemplaren 13,5, 14,5, 16,5, 19,5, 21, im Durchschnitt also 17 cm. Die Länge der Nadeln schwankte sehr stark, zwischen 30 und 78 mm.

Vergleicht man das Wachstum der Krummholzkiefern von den drei Versuchsflächen (siehe S. 39, Abb. 14) miteinander, so gewinnt

Abb. 13.

Kiefer. Aussaat Frühjahr 1909, herausgenommen 24. August 1910. Vergr. 1 : 8.
1. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, ungekalkt; 2. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, gekalkt;
3. „ „ „ 2, „ 4. „ „ „ 2, „
5. „ „ „ 3, „ 6. „ „ „ 3, „

man den Eindruck, als ob auf ungekalktem Boden das Wachstum auf der dritten Versuchsfläche am besten wäre. Bei den gekalkten Exemplaren macht sich ein Unterschied zwischen der ersten und

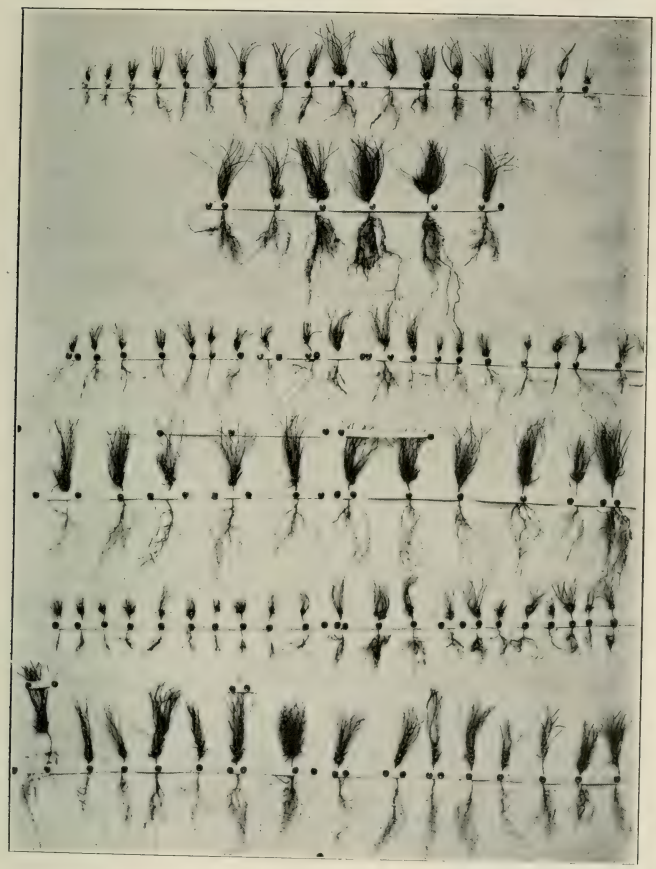


Abb. 14.
Krummholzkiefer. Aussaat Frühjahr 1909, herausgenommen 24. Aug. 1910. Verg. 1 : 8.
1. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, ungekalkt; 2. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, gekalkt;
3. „ „ „ 2, „ 4. „ „ „ 2, „
5. „ „ „ 3, „ 6. „ „ „ 3, „

den beiden anderen Versuchsflächen bemerkbar, was bei der Untersuchung mehr hervortritt als auf der Abbildung, indem dort die Exemplare weniger kräftig sind als auf diesen beiden. Es scheint, daß die Pflanzen auf der dritten Fläche noch etwas besser gekommen sind als auf der zweiten, doch ist der Unterschied nicht so deutlich wie der zwischen denen von der ersten und den beiden anderen Versuchsflächen.

Eiche: Auf der ersten Versuchsfläche waren am 26. August 1909 die Eichen auf der gekalkten Parzelle sehr gut gekommen, auf der ungekalkten weniger gut, indem sie kleiner und geringer an Zahl in den einzelnen Reihen waren. Bei der Besichtigung am 24. August 1910 standen die Pflanzen auf dem gekalkten Boden sehr gut, auf dem ungekalkten gut; sie waren aber kleiner, auch war ihr Wurzelsystem kürzer, in beiden Fällen aber sehr lang. Ein Jahr später wurde Folgendes festgestellt. Die Eichen waren sowohl auf der ungekalkten wie gekalkten Parzelle weniger kräftig als auf den beiden anderen Versuchsflächen. Auf der gekalkten Parzelle waren im allgemeinen die Exemplare nicht höher als 20 cm, meistens aber darunter; die ungekalkten Exemplare waren klein und kümmerlich mit gelblichen Blättern. Diesen Wuchsverhältnissen entsprachen auch die Längen der Blätter. Sie betrugen im Durchschnitt von 16 Blättern auf dem ungekalkten Boden 4,1 cm, im Durchschnitt von 26 Blättern auf dem gekalkten Boden 5,7 cm. Letztere sind also um 39% länger, und entsprechend dürften die Unterschiede in der Gesamtentwicklung der Pflanzen sein. Auch die Wurzeln der ungekalkten Exemplare sind sehr lang, und darin ist der Grund zu suchen, daß die Eichen sich im Gegensatze zu den Nadelhölzern verhältnismäßig gut auf der ungekalkten Parzelle entwickelt haben.

Am 26. August 1909 standen auf der zweiten Versuchsfläche die gekalkten Eichen in ziemlich geschlossenen Reihen, die ungekalkten sehr lückig. Die Wurzeln der gekalkten Exemplare waren länger als die der ungekalkten, und diese hatten wiederum längere Wurzeln als die ungekalkten Exemplare von der ersten Versuchsfläche. Im folgenden Jahre standen die Eichen auf beiden Parzellen besser als auf der ersten Versuchsfläche. Im August 1911 waren die gekalkten Exemplare groß und kräftig; sie hatten größere Blätter und einen grüneren Farbenton als die entsprechenden Exemplare von der ersten Versuchsfläche. Die ungekalkten Exemplare waren kümmerlicher als die gekalkten, aber kräftiger als die

ungekalkten der ersten Versuchsfläche; sie hatten auch noch einen gelblichen Farbenton, waren aber grüner als die ungekalkten Exemplare von der ersten Versuchsfläche.

Bei der Besichtigung am 26. August 1909 waren die gekalkten Exemplare auf der dritten Versuchsfläche stark entwickelt, die ungekalkten schwächer. Am 24. August 1910 standen die gekalkten Exemplare in geschlossenen Reihen, waren meistens groß und schön. Die ungekalkten Exemplare bildeten gleichfalls fast noch ganz geschlossene Reihen, doch waren sie erheblich kleiner als die gekalkten. Bei der Besichtigung im August 1911 standen die gekalkten Exemplare sehr gut, die ungekalkten Exemplare waren erheblich kümmerlicher, bildeten aber nahezu noch geschlossene Reihen. Die Länge der Blätter betrug im Durchschnitt von 27 6,8 cm.

Die Eiche ist auf dem ungekalkten Boden aller drei Versuchsflächen verhältnismäßig gut zur Entwicklung gelangt. Die Abbildung 15, S. 42, zeigt auf der rechten Seite die ungekalkten Exemplare von den drei Versuchsflächen übereinander geordnet, mit 1 oben beginnend. Daß die Pflanzen sich hier nicht nur gehalten, sondern sich auch während drei Jahren weiter entwickelt haben, ist unverkennbar auf das große Wurzelsystem zurückzuführen, das die Eiche auch bei einem geringen Kalkgehalt im Boden zu bilden vermag. Die oberirdischen Teile sind wie die ganze Pflanze von ganz bedeutend geringerer Entwicklung als bei den gekalkten Exemplaren, was sich im Höhenwuchs, in der Blattgröße und in der Färbung der Blätter ausspricht. Die Entwicklung der ungekalkten Exemplare ist am ungünstigsten auf der ersten Versuchsfläche, am besten im großen und ganzen auf der dritten, wenn das auch nicht auf unserer Abbildung hervortritt. Die hier wiedergegebenen Exemplare lassen allerdings keinen wesentlichen Unterschied zwischen den beiden Versuchsflächen erkennen. Auf dem gekalkten Boden haben sich auf allen Versuchsflächen die Eichen sehr kräftig entwickelt, wie aus Abbildung 16, S. 43, hervorgeht. Am schlechtesten stehen sie auf der ersten Versuchsfläche (oberste Reihe); zwischen den Exemplaren von den beiden anderen Flächen ist der Unterschied nicht so groß wie zwischen der ersten und zweiten resp. dritten. Trotz der bedeutenden Größe des Wurzelsystems der ungekalkten Exemplare ist das der gekalkten doch noch bedeutend größer.

Rotbuche: Auf der ersten Versuchsfläche waren am 26. August 1909 die Pflanzen auf der gekalkten Parzelle sehr gut

gekommen, sie standen in lückenlosen Reihen; auf dem ungekalkten Boden waren sie ziemlich gut gekommen, aber sie waren erheblich kleiner als die gekalkten Exemplare (vergl. die Abbildungen 15 und 17). Am 24. August 1910 fanden sich auf dem ungekalkten Boden nur vereinzelte, kümmerliche und obendrein

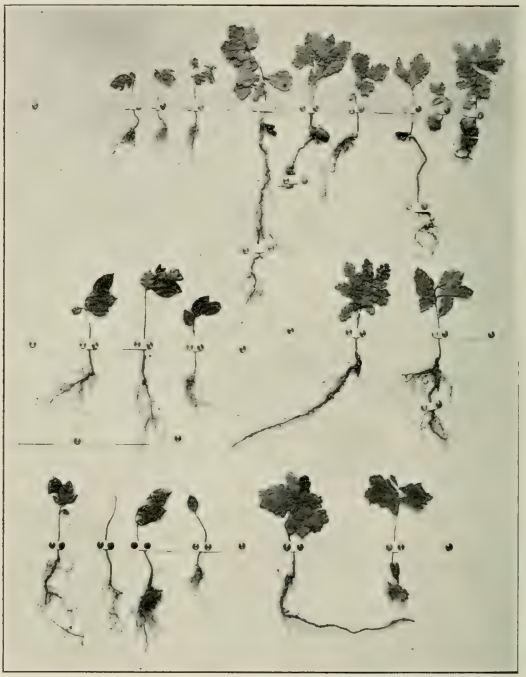


Abb. 15.
Rotbuche (links), Eiche (rechts). Aussaat Frühjahr 1909, herausgenommen 24. August 1910. Vergr. 1 : 8.
1. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, ungekalkt; 2. Reihe: Neue Versuchsfläche 2, ungekalkt; 3. Reihe: Neue Versuchsfläche 3, ungekalkt.

verbissene Exemplare. Auf dem gekalkten Boden waren die Pflanzen freilich auch stark verbissen, standen aber, davon abgesehen, sehr gut und in geschlossenen Reihen. Sie waren größer und kräftiger als die ungekalkten Exemplare. Im August 1911

Abb. 16.
Eiche. Aussaat Frühjahr 1909, herausgenommen 24. August 1910. Vergr. 1 : 8.
1. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, gekalkt; 2. Reihe: Neue Versuchsfläche 2, gekalkt;
3. Reihe: Neue Versuchsfläche 3, gekalkt.

waren auf der ungekalkten Parzelle alle Exemplare verschwunden. Auf der gekalkten Parzelle waren die Exemplare sehr klein, viele stark verbissen; sie waren viel kümmerlicher als die gleichartigen von den beiden anderen Versuchsflächen.

Abb. 17.
Rotbuche. Aussaat Frühjahr 1909, herausgenommen 24. August 1910. Verg. 1 : 8.
1. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, gekalkt;
2. Reihe: Neue Versuchsfläche 2, gekalkt;
3. Reihe: Neue Versuchsfläche 3, gekalkt.

Am 26. August 1909 standen auf der gekalkten Parzelle der zweiten Versuchsfläche die Pflanzen sehr schön in geschlossenen Reihen; sie hatten ein großes Wurzelsystem gebildet. Auf der ungekalkten Parzelle waren die Exemplare bedeutend kleiner, die Reihen lückenhaft; das Wurzelsystem dieser ungekalkten Buchen war zwar nicht schlecht, aber erheblich kleiner als das der gekalkten Exemplare. Auf der ungekalkten Parzelle sind weit mehr Exemplare gekommen als auf der entsprechenden der ersten Versuchsfläche.

Am 24. August 1910 standen auf dieser Versuchsfläche die Buchen

besser als auf der ersten Versuchsfläche. Die Blätter der ungekalkten Exemplare waren gelblich. Der Unterschied in der Entwicklung der gekalkten und ungekalkten Exemplare tritt aus unserer Abbildung (2. Reihe links in der Abbildung 15 und 2. Reihe der Abbildung 17) deutlich hervor. Am 22. August 1911 waren auf der ungekalkten Parzelle nur vereinzelte Exemplare vorhanden, auf der gekalkten standen die Exemplare gut. Die Höhe des Stämmchens über der Erde betrug im Durchschnitt von vier Exemplaren 33,6 cm, die Länge der gemessenen 15 Blätter schwankte zwischen 5,3 und 8,3 cm, betrug im Durchschnitt 6,9 cm.

Auf der dritten Versuchsfläche standen am 26. August 1909 die gekalkten Exemplare in lückenlosen Reihen, waren kräftig und sahen gut aus; auf dem ungekalkten Boden waren die Exemplare kleiner, standen aber in ziemlich lückenlosen Reihen. Am 24. August 1910 waren die gekalkten Exemplare groß und kräftig, zum Teil über einen Fuß hoch, andere allerdings auch erheblich niedriger. Auf dem ungekalkten Boden fanden sich noch in jeder Reihe Exemplare vor; ihre Blätter hatten einen gelblichen Farbenton. Die dritte Reihe auf der linken Seite der Abbildung 15 und die dritte Reihe der Abbildung 17 zeigt ungekalkte und gekalkte Exemplare und läßt den großen Unterschied zwischen beiden deutlich hervortreten. Am 22. August 1911 waren auf der ungekalkten Parzelle nur vereinzelte ganz kümmerliche Exemplare vorhanden, während die Exemplare auf der gekalkten Parzelle gut standen. Die Länge der größten Blätter von den gekalkten Exemplaren betrug im Durchschnitt von vier Messungen 5,5 cm.

Die ungünstigsten Verhältnisse haben für die Rotbuche auf der ersten Versuchsfläche geherrscht. Im Laufe der drei Jahre sind auf ihrer ungekalkten Parzelle alle Exemplare verschwunden. Auf den beiden anderen Versuchsflächen waren immerhin noch einige Exemplare vorhanden von allerdings kümmerlicher Beschaffenheit, auch ist nicht mit Sicherheit zu sagen, ob sie auf der Versuchsfläche 3 etwas besser standen als auf der Versuchsfläche 2. Eine geeignete Entwicklungsmöglichkeit für die Buchen bieten diese ungekalkten Böden nicht. Die gekalkten Exemplare haben sich erheblich schlechter auf der Versuchsfläche 1 als auf den beiden anderen entwickelt. Es macht den Eindruck, als ob die gekalkten Exemplare auf der zweiten Versuchsfläche besser ständen als auf der dritten.

Birke: Von den im Jahre 1909 ausgesäten Samen waren in demselben Jahre auf keiner Versuchsfläche irgend welche Exemplare gekommen. Im Frühjahr 1910 waren neue Samen ausgelegt worden, und hieraus waren einige Exemplare aufgekommen.

Auf der ersten Versuchsfläche war am 24. August 1910 nur ein Exemplar auf der ungekalkten Parzelle vorhanden. Es ist in der ersten Reihe links oben auf der folgenden Abbildung 18 wiedergegeben. Auf der gekalkten Parzelle waren einige Exemplare mehr gekommen als auf der ungekalkten; sie waren größer als die ungekalkten, aber auch nur klein. Drei von ihnen sind in der ersten Reihe unserer Abbildung wiedergegeben. Im August 1911 waren einige Exemplare von guter Ausbildung auf der gekalkten Parzelle vorhanden.

Am 24. August 1910 waren weder auf der gekalkten noch auf der ungekalkten Parzelle der zweiten Versuchsfläche Birken vorhanden. Im folgenden Jahre waren einige normale Exemplare auf der gekalkten Parzelle erschienen, während auf der ungekalkten nichts gekommen war.

Auf der dritten Versuchsfläche waren am 24. August 1910 sieben größtenteils sehr kümmerliche Exemplare auf der gekalkten Parzelle vorhanden, während auf der ungekalkten nichts gekommen war. Für den folgenden Termin fehlen Angaben, wahrscheinlich waren die wenigen Exemplare des Vorjahres zugrunde gegangen.

Ein entscheidendes Ergebnis haben diese Versuche mit Birkensaat nicht gegeben, weil viel zu wenig Exemplare aufgekommen sind, was vermutlich auf die Beschaffenheit des Saatgutes zurückzuführen ist. Immerhin kann wohl soviel behauptet werden, daß die Birke sich auf dem ungekalkten Boden nicht entwickeln kann.

Schwarzerle: Auf der ungekalkten Parzelle der ersten Versuchsfläche war am 24. August 1910 ein Exemplar, auf der gekalkten eine ziemlich große Anzahl von allerdings nur kleinen Exemplaren gekommen. Die Abbildung 18 führt in der zweiten Reihe dies eine Exemplar von der ungekalkten Parzelle und in der folgenden Reihe mehrere Exemplare der gekalkten Parzelle vor. Im August 1911 fanden sich auf der gekalkten Parzelle vereinzelte Exemplare von guter Ausbildung vor, alles andere war verschwunden.

Auf der zweiten Versuchsfläche war am 24. August 1910 eine Reihe mit ziemlich viel Exemplaren von verschiedener Größe auf der gekalkten Parzelle (Reihe 5 Abb. 18) vorhanden; auf der un-

gekalkten Parzelle standen auch ziemlich viel Exemplare, aber nur sehr kleine, wie sie in Reihe 4 der nachstehenden Abbildung wiedergegeben sind. Im folgenden Jahre wurden gar keine Exemplare gefunden, sie scheinen also zugrunde gegangen zu sein.

Auf der dritten Versuchsfläche waren am 24. August 1910 nur auf der gekalkten Parzelle Erlen in ziemlich großer Zahl und von ansehnlicher Größe gekommen. Von diesen waren im August 1911 noch einige Exemplare vorhanden, alles andere war verschwunden.

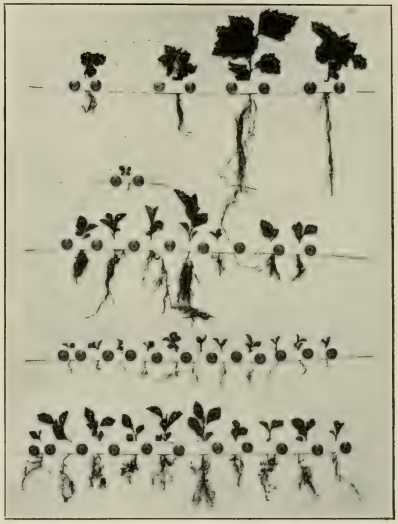


Abb. 18.
Birke, Erle. Sommer 1910. Vergr. 1 : 5.
1. Reihe: links 1 Exemplar der Birke von der neuen Versuchsfläche 1, ungekalkt, rechts 3 Exemplare von derselben Versuchsfläche, gekalkt;
2. „ : 1 Exemplar der Erle von der neuen Versuchsfläche 1, ungekalkt;
3. „ : Erle, neue Versuchsfläche 1, gekalkt;
4. „ : „ „ „ „ 2, ungekalkt;
5. „ : „ „ „ „ 3, gekalkt.

Der ungekalkte Boden ist demnach unfähig, Erlen zu tragen; denn selbst die vereinzelt aufgetretenen Exemplare haben sich nicht halten können. Der Kalkzusatz zum Boden scheint für ein Wachstum der Erle nicht ausreichend zu sein, oder es müssen andere Umstände mit im Spiele sein; vielleicht sind die Feuchtigkeitsverhältnisse an diesem Standort nicht geeignet.

Spitzahorn: Auf der ersten Versuchsfläche waren am 24. August 1910 weder auf der ungekalkten noch auf der gekalkten Parzelle Pflanzen vorhanden. Im August 1911 wurden zwei Exemplare auf der gekalkten Parzelle gefunden.

Günstiger waren am 24. August 1910 die Verhältnisse auf der zweiten Versuchsfläche. Auf der gekalkten Parzelle waren

mehrere sehr lückenhafte Reihen mit Pflanzen vorhanden, auf der ungekalkten Parzelle fanden sich nur zwei Exemplare. Im August des folgenden Jahres fehlte auf der ungekalkten Parzelle alles, auf der gekalkten waren nur vergilbte kümmerliche Exemplare vorhanden.

Abb. 19.

Spitzahorn. Aussaat Frühjahr 1910, herausgenommen 26. August 1910. Vergr. 1 : 5.

1. Reihe: 3 Exemplare von der neuen Versuchsfläche 2 ungekalkt (links), 1 Exemplar (rechts) von der neuen Versuchsfläche 3, ungekalkt;
2. „ : neue Versuchsfläche 1, gekalkt;
3. „ : „ „ 2, „ ;
4. „ : „ „ 3, „ .

Auf der dritten Versuchsfläche waren am 24. August 1910 nur ein ungekalktes und wenige gekalkte Exemplare vorhanden. Im August des folgenden Jahres fanden sich noch vereinzelte kümmerliche Exemplare auf der gekalkten Parzelle.

Die nebenstehende Abbildung gibt in der ersten Reihe Exemplare vom ungekalkten Boden wieder, links drei von der Versuchsfläche 2, rechts eins von der Versuchsfläche 3. Die folgenden Reihen sind die Abbildungen von gekalkten Exemplaren der drei Versuchsflächen, mit der ersten oben beginnend.

Für den Spitzahorn ist der ungekalkte Boden durchaus ungeeignet; denn auf der ersten Versuchsfläche ist kein Exemplar, auf der zweiten und dritten sind nur wenige gekommen, die aber schon nach einem Jahre vollkommen verschwunden waren. Auch die Kalkung ist augenscheinlich noch

nicht genügend gewesen, um eine normale Entwicklung zu ermöglichen, da im zweiten Jahre auf allen drei Versuchsflächen nur noch wenige kümmerliche Exemplare vorhanden waren.

Bergahorn: Am 26. August 1910 waren auf der ersten Versuchsfläche die Pflanzen fast gleich gut auf der gekalkten wie ungekalkten Parzelle gekommen, doch waren erstere kräftiger entwickelt als letztere, die noch die Kotyledonen besaßen, wie auf der Abbildung 20 in der ersten Reihe zu erkennen ist. Im August 1911 waren alle Pflanzen auf der ungekalkten Parzelle verschwunden; auf der gekalkten Parzelle war eine ziemlich gut geschlossene Reihe von Exemplaren vorhanden, die aber schlechter standen als auf den Versuchsflächen 2 und 3.

Auf der zweiten Versuchsfläche waren am 24. August 1910 auf der ungekalkten wie auf der gekalkten Parzelle je zwei fast geschlossene Reihen von Pflanzen vorhanden, doch waren die ungekalkten Exemplare erheblich kleiner als die gekalkten. (Vergl. 3. und 4. Reihe in Abbildung 20.) Im August 1911 waren die Exemplare von der ungekalkten Parzelle verschwunden, während sie auf der gekalkten gut standen. Die gekalkten Exemplare hatten ein großes Wurzelsystem; die Höhe der Stengel betrug nach Messungen an drei Exemplaren 16, 11 und 17 cm und die Größe der Blätter nach drei Bestimmungen 48 : 42,5; 34,5 : 52; 35 : 37 mm.

Je eine geschlossene Reihe von Pflanzen war auf beiden Parzellen der dritten Versuchsfläche am 24. August 1910 vorhanden. Die ungekalkten Exemplare waren klein, die gekalkten schön und kräftig, wie ein Vergleich der fünften und sechsten Reihe der Abbildung 20 zeigt. Ein Jahr später waren auf der ungekalkten Parzelle nur noch vereinzelte kümmerliche Exemplare vorhanden, während auf der gekalkten Parzelle die Reihe nach wie vor geschlossen war. Der Stengel von zwei Exemplaren betrug 14 und 17 cm, die Größe der Blätter im Durchschnitt 5,3 : 6,6 cm.

Auf dem ungekalkten Boden können sich die Pflanzen nicht halten und entwickeln. In der zweiten Vegetationsperiode waren auf den beiden ersten Versuchsflächen alle Exemplare verschwunden, auf der dritten noch vereinzelte vorhanden. So scheint die Bodenbeschaffenheit der dritten Versuchsfläche für Bergahorn etwas günstiger zu sein als die der beiden anderen. Die gekalkten Exemplare standen am besten auf der dritten, am schlechtesten auf der ersten Versuchsfläche.

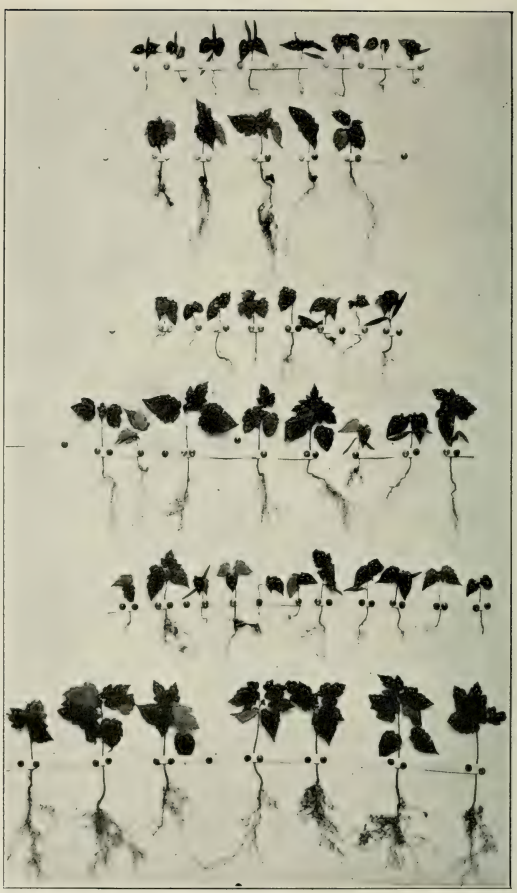


Abb. 20.

Bergahorn. Aussaat Frühjahr 1910, herausgenommen 26. August 1910. Vergr. 1 : 5.
1. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, ungekalkt; 2. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, gekalkt;
3. „ : „ „ 2, „ ; 4. „ : „ „ 2, „ ;
5. „ : „ „ 3, „ ; 6. „ : „ „ 3, „ .

Robinia: Auf der ersten Versuchsfläche waren am 24. August 1910 auf ungekalktem Boden nur vereinzelte Exemplare von ganz kümmerlichem Wuchs gekommen; auf gekalktem Boden waren die Reihen freilich geschlossen, aber die Exemplare waren nicht sehr üppig (s. erste und zweite Reihe der Abbildung 21). Ein Jahr später waren die Exemplare von der ungekalkten Parzelle verschwunden, auf der gekalkten Parzelle waren nur vereinzelte Exemplare geblieben.

Auf der zweiten Versuchsfläche waren am 24. August 1910 zwei dicht geschlossene Reihen kräftiger und großer Pflanzen auf gekalktem Boden vorhanden. Sie waren viel größer als auf den beiden anderen Versuchsflächen. Auf dem ungekalkten Boden waren die Reihen wenig lückig, aber die Exemplare kümmerlich. (Vergl. Reihe 4 und 3 in Abbildung 21.) Im Jahre 1911 waren alle Exemplare von der ungekalkten Parzelle verschwunden; auf der gekalkten waren noch $1^1/_2$ Reihen ziemlich großer Pflanzen vorhanden. Sie waren viel größer und kräftiger als auf der Versuchsfläche 1, sie hatten aber kleine Blätter und ihre Stengelhöhe variierte sehr. Sie schwankte bei sechs gemessenen Exemplaren zwischen 5 und 21 cm, betrug im Durchschnitt 10 cm.

Am 24. August 1910 standen auf der dritten Versuchsfläche die ungekalkten Exemplare verhältnismäßig gut; die gekalkten Exemplare waren größer, doch war der Unterschied nicht so bedeutend wie erwartet werden konnte. Die Reihen 5 und 6 in der Abbildung 21 gestatten einen Vergleich der ungekalkten und gekalkten Exemplare. Ein Jahr später waren alle Exemplare von der ungekalkten Parzelle verschwunden; auf der gekalkten Parzelle waren nur vereinzelte Exemplare vorhanden, die einen kümmerlicheren Eindruck machten, als die Exemplare von der zweiten Versuchsfläche.

Auf den ungekalkten Parzellen können die Pflanzen nicht dauernd leben, denn die im ersten Jahre aufgetretenen Exemplare waren im zweiten verschwunden. Am schlechtesten waren sie auf der ersten, am besten auf der dritten Versuchsfläche gekommen. Das Verhalten der gekalkten Exemplare geht mit dem der ungekalkten nicht parallel; am besten standen sie auf der zweiten Fläche, auf den beiden anderen ungefähr gleich gut. Eine Erklärung für dieses Verhalten ist mir nicht möglich zu geben.

Besenstrauch: Auf der ersten Parzelle waren am 24. August 1910 nur vereinzelte ungekalkte Exemplare vorhanden, und

Abb. 21.

Robinia pseudacacia. Aussaat Frühjahr 1910, herausgenommen 24. August 1910. 1 : 6.

1. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, ungekalkt; 2. Reihe: Neue Versuchsfläche 1, gekalkt;
3. „ : „ „ 2, „ ; 4. „ : „ „ 2, „ ;
5. „ : „ „ 3, „ ; 6. „ : „ „ 3, „ .

diese waren von sehr mäßiger Ausbildung. (Siehe Reihe 1 Abbildung 22.) Auf der gekalkten Parzelle standen die Pflanzen sehr gut. Ein Jahr später fehlte der Besenstrauch vollständig auf der ungekalkten Parzelle, während die Exemplare auf der gekalkten Parzelle ganz gut standen, wenn sie auch nur kurze Triebe gebildet hatten.

Am 24. August 1910 war der Besenstrauch sehr spärlich und mäßig auf der ungekalkten Parzelle der zweiten Versuchsfläche, sehr gut auf der gekalkten gekommen. (Vergl. Reihe 2 und 3 in der Abbildung 22.) Im Jahre 1911 waren auf der ungekalkten Parzelle noch einige kleine Exemplare, auf der gekalkten geschlossene Reihen vorhanden. Die Pflanzen standen ganz gut und waren größer und kräftiger als auf der ersten Versuchsfläche.

Die gekalkten Exemplare auf der dritten Versuchsfläche am 24. August 1910 waren größtenteils kräftige und große Pflanzen. Auf der ungekalkten Parzelle waren zwei beinahe geschlossene Reihen allerdings kümmerlicher

Abb. 22. Besenstrauch. Aussaat 1910 im Frühjahr, herausgenommen im August 1910. Vergr. ca. 1 : 6.

1. Reihe:	Neue Versuchsfläche	1,	ungekalkt;
2.	„ :	„	„	2,	„ ;
3.	„ :	„	„	2,	gekalkt;
4.	„ :	„	„	3,	ungekalkt;
5.	„ :	„	„	3,	gekalkt;
6.	„ :	Grunder	„	1,	ungekalkt;
7.	„ :	„	„	1,	gekalkt.

Exemplare vorhanden. Im August 1911 waren diese Exemplare alle verschwunden, während der Besenstrauch auf der gekalkten Parzelle gut stand. Die Reihen 4 und 5 der Abbildung 22 führen die ungekalkten und gekalkten Pflanzen aus dem Jahre 1910 vor.

Auf dem ungekalkten Boden kann der Besenstrauch nicht gedeihen, wenn auch noch im zweiten Jahre einige Exemplare auf der zweiten Versuchsfläche vorhanden waren. Die gekalkten Exemplare haben sich auf der zweiten und dritten Versuchsfläche besser entwickelt als auf der ersten; auch scheinen sie auf der dritten noch etwas besser als auf der zweiten zu stehen.

Abb. 23.
Ulex europaeus L. Neue Versuchsfläche 1. Die beiden oberen Reihen von der ungekalkten, der Rest von der gekalkten Parzelle. Aussaat Frühjahr 1909; herausgenommen 26. August 1909. Vergr. ca. 1 : 6.

Die in den Reihen 6 und 7 (Abb. 22) abgebildeten Exemplare von Besenstrauch sind dem ersten Anflugshorst in der Grunder Oberförsterei entnommen worden. Auf dem ungekalkten Boden sind auch hier die Exemplare von kümmerlichem Wuchs, während sie auf dem gekalkten Boden ein viel besseres Wachstum und ein sehr viel kräftigeres Wurzelsystem erkennen lassen.

Stachelginster: Bei der Besichtigung am 26. August 1909 waren auf der ersten Versuchsfläche ganz kümmerliche Pflänzchen auf dem ungekalkten Boden gekommen, während die Exemplare auf dem gekalkten Boden gut standen. Die Abbildung 23 zeigt in den ersten beiden Reihen ungekalkte Exemplare, in den folgenden gekalkte. Am 24. August 1910 waren die Pflanzen von der ungekalkten Parzelle verschwunden, während sie auf der gekalkten groß und mit Knöllchen versehen waren. Im Jahre 1911 waren die Pflanzen entsprechend gewachsen.

Auf der Versuchsfläche 2 war am 26. August 1909 das Verhalten der Pflanzen im wesentlichen das gleiche wie auf der Ver-

suchsfläche 1. Am 26. August 1910 fehlte der Stachelginster auf der ungekalkten Parzelle vollständig; auf der gekalkten waren schöne kräftige Exemplare vorhanden. Im dritten Jahre sind diese kräftig gewachsen.

Am 26. August 1909 waren bei der dritten Versuchsfläche nur wenige Exemplare auf dem ungekalkten Boden, viele und zwar große Pflanzen auf der gekalkten Parzelle vorhanden. Vereinzelte dieser gekalkten Exemplare besaßen Knöllchen. Am 24. August 1910 waren die ungekalkten Exemplare verschwunden; auf der gekalkten Parzelle waren große Pflanzen vorhanden, die im folgenden Jahre üppig weiterwuchsen.

Der ungekalkte Boden sagte dem Stachelginster so wenig zu, daß auf allen drei Versuchsflächen nur kümmerliche Pflanzen gekommen waren, die sich über die erste Vegetationsperiode hinaus nicht halten konnten. Ob bei den ungekalkten Exemplaren Unterschiede auf den verschiedenen Versuchsflächen vorhanden waren, war bei der Kleinheit der Pflänzchen nicht zu entscheiden. Unterschiede in der Entwicklung der gekalkten Exemplare von den verschiedenen Versuchsflächen waren mit Sicherheit auch nicht festzustellen; sie haben sich auf allen drei Flächen sehr kräftig entwickelt.

Bohne, eine sehr niedrige Varietät. Auf der ersten Versuchsfläche waren am 26. August 1909 durchschnittlich 10 cm hohe Pflänzchen nur auf der gekalkten Parzelle vorhanden.

Auf der zweiten Versuchsfläche waren keine Pflanzen auf der ungekalkten Parzelle gekommen, auf der gekalkten standen sie etwas besser als auf der ersten Versuchsfläche. Die Bohnen waren in größerer Zahl vorhanden und im Durchschnitt etwas höher und besaßen, wenn auch nicht an jedem Exemplar, Knöllchen.

Auf der dritten Versuchsfläche waren auch nur auf der gekalkten Parzelle Bohnen gekommen, aber augenscheinlich weniger reichlich als auf Versuchsfläche 2. Knöllchen wurden nicht beobachtet.

Unverkennbar sind für diese Bohnensorte die Bodenverhältnisse trotz des Kalkzusatzes sehr ungünstige gewesen, da selbst die gekalkten Bohnen nicht gut gediehen. Am besten standen sie auf der zweiten Versuchsfläche, vielleicht infolge der Gegenwart der Knöllchen.

Lupinus angustifolius: Auf ungekalktem Boden sind einige Exemplare von kümmerlichem Wuchs lediglich auf der dritten Ver-

suchsfläche aufgetreten (26. August 1909). Auf der gekalkten Parzelle der ersten Versuchsfläche waren nur wenige niedrige Exemplare gekommen; etwas zahlreicher als auf dieser trat die Lupine auf der zweiten Versuchsfläche auf. Die Pflanzen waren etwas größer und die Anzahl der blühenden und fruktifizierenden Exemplare etwas bedeutender. Auf der dritten Versuchsfläche waren ungefähr ebensoviele Exemplare wie auf der Versuchsfläche 2 vorhanden. Sie waren ungefähr einen Fuß hoch, blühten und fruktifizierten, hatten aber keine Knöllchen an den Wurzeln. Es scheint also, als ob das Wachstum von *Lupinus angustifolius* sich mit zunehmender Entfernung von der Rauchquelle besserte.

Lupinus luteus: Sommer 1910. Bei der Versuchsfläche 1 waren auf der ungekalkten Parzelle einige kümmerliche Exemplare gekommen. Auf der gekalkten Parzelle waren die Lupinen gut gekommen, sie blühten oder schickten sich an zu blühen. Mit Rücksicht auf eventuelle Fröste waren die Samen erst spät auf den beiden ersten Versuchsflächen ausgelegt worden, später als bei der dritten. Knöllchen waren vorhanden, aber nur an gekalkten Exemplaren.

Bei Versuchsfläche 2 und 3 waren die Samen nur auf der gekalkten Parzelle ausgelegt worden. Die Exemplare waren auf der zweiten Versuchsfläche höchstens einen Fuß hoch geworden, meistens blieben sie darunter. Zur Zeit der Besichtigung, am 26. August, blühten sie. Auf dieser Versuchsfläche waren die Pflanzen schlechter gekommen als auf der ersten. Es waren Knöllchen vorhanden, aber nur in der Einzahl und nicht an jedem Exemplar.

Auf der dritten Versuchsfläche hatten die Pflanzen schon geblüht und trugen Früchte. Die Blätter waren kleiner als auf der ersten Versuchsfläche. Knöllchen kamen vor, fanden sich aber nicht an jedem Exemplar. Von neun untersuchten hatten vier Knöllchen, meistens je ein größeres, an einem Exemplar war jedoch eine größere Anzahl vorhanden.

Da die Lupine augenscheinlich am besten auf der ersten Versuchsfläche gediehen ist, soweit die ungleichzeitig ausgesäten Samen einen Vergleich gestatten, so stellt sie sich damit in Gegensatz zu allen anderen Pflanzen und somit kann sie nicht zur Entscheidung der uns hier interessierenden Frage beitragen. Auch waren die Lupinen auf den gekalkten Parzellen mit Rücksicht auf ganz andere Gesichtspunkte ausgesät worden.

Über das Verhalten der Bakterienknöllchen an den auf diesen drei Versuchsflächen gewachsenen Leguminosen kann hier zusammenfassend festgestellt werden, daß die Knöllchen niemals an Pflanzen auf ungekalkter Parzelle aufgetreten sind. Im August 1911 wurden die vorhandenen Leguminosen auf das Vorhandensein von Knöllchen untersucht. Auf der ersten Versuchsfläche wurde je ein Exemplar von *Ulex*, *Robinia* und *Spartium* geprüft, es fanden sich an jedem Knöllchen. Auf der zweiten Versuchsfläche waren gleichfalls bei allen drei Leguminosenarten Knöllchen vorhanden. Auf der dritten Versuchsfläche waren Knöllchen nicht an allen untersuchten Exemplaren von *Robinia* vorhanden, aber an allen untersuchten Exemplaren von *Ulex* und *Spartium*.

Für die Bohne wurde 1909 festgestellt, daß auf der zweiten Versuchsfläche Knöllchen vorhanden waren, wenn auch nicht an jedem Exemplar, während sie auf den beiden anderen Versuchsflächen zu fehlen schienen. Für *Lupinus angustifolius* wurde die Abwesenheit von Knöllchen ermittelt. Wahrscheinlich fehlten sie auch auf den beiden anderen Versuchsflächen, da ich unter meinen Notizen Angaben über das Vorkommen vermisse. Für *Lupinus luteus* wurde 1910 die Gegenwart der Knöllchen auf allen Versuchsflächen festgestellt, wenn sie auch nicht an jedem Exemplar auftraten.

Es sind demnach die Knöllchenbakterien im Boden vorhanden, finden aber entweder nicht die Bedingungen zu ihrer Vermehrung oder nicht die Bedingungen zur Infektion, wenn der Boden nicht gekalkt wird.

bb) Verhalten der gepflanzten Bäume.

Gepflanzt im Frühjahr 1910, besichtigt am 21. August 1911.

Kiefer: Die Exemplare von der ungekalkten Parzelle der ersten Versuchsfläche waren kümmerlich, die von der gekalkten von hohem, kräftigem Wuchs. Der oberirdische Teil eines ungekalkten Exemplares war 20 cm hoch, die Länge der Nadeln von 1911 betrug 2,5—3 cm, der vorjährigen 2—2,3 cm. Bei dem gekalkten Exemplar war allein der Kronenteil 35 cm hoch, die Länge der Triebe von 1911 betrug 19, 10,5, 5, 10, 10,5 cm, die der Nadeln von 1911 4,5—7,5, der vorjährigen Nadeln 4—4,3 cm.

Auf der zweiten Versuchsfläche standen die Kiefern erheblich besser auf der gekalkten als auf der ungekalkten Parzelle. Sowohl

die Triebe wie die Nadeln waren länger. Das Wurzelsystem der gekalkten Exemplare war bedeutend größer als das der ungekalkten. Ebenso ist der Stamm der gekalkten Exemplare höher als der ungekalkten und erheblich dicker. Je ein Exemplar wurde genauer gemessen:

Ungekalktes Exemplar: 30 cm hoch über der Erde, Länge der Nadeln von 1911 3,3 cm, von 1910 3,3 cm.

Gekalktes Exemplar: 35 cm hoch über der Erde; Länge der Sprosse von 1911 12, 10, 8, 7, 6, 11, 12, der Nadeln von 1911 6,4, der Nadeln von 1910 5 cm.

Auf der dritten Versuchsfläche waren die ungekalkten Exemplare kümmerlich, die gekalkten schön kräftig. Die ungekalkten Exemplare hatten ein viel kleineres Wurzelsystem, waren auch niedriger als die gekalkten Exemplare. Die Messungen an je zwei Exemplaren ergaben:

Ungekalkt: Höhe der oberirdischen Teile betrug 26 cm, Länge der Nadeln von 1911 2 cm.

Gekalkt: Höhe der oberirdischen Teile betrug 40 cm, Länge der Nadeln schwankte zwischen 3,5 und 5 cm, betrug durchschnittlich 4,4 cm.

Krummholzkiefer: Das Verhältnis zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren auf der ersten Versuchsfläche ist ungefähr wie bei der Kiefer von der ersten Versuchsfläche.

Der Unterschied zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren auf der zweiten Versuchsfläche ist nicht so auffällig wie bei der Kiefer auf der zweiten Versuchsfläche und wie bei der Krummholzkiefer auf der dritten Versuchsfläche. Im allgemeinen ist der Wuchs der Krummholzkiefer auf der gekalkten Parzelle besser als auf der ungekalkten.

Ungekalkt: Höhe des oberirdischen Teils 30 cm, Länge der Triebe von 1911 2—3 cm, die Länge der Nadeln von 1911 schwankte zwischen 45 und 53 mm und betrug im Mittel 50,6 mm, die der Nadeln von 1910 schwankte zwischen 24 und 27 mm und betrug im Mittel 25,2 mm. Andere Sprosse hatten Längen von 28—40 mm.

Gekalkt: Länge der Triebe 4, 5, 8, 11 cm lang, Länge der Nadeln von 1911 70—86 mm, im Durchschnitt 77,4, Länge der vorjährigen Nadeln 53—58 mm, im Durchschnitt 55,2 mm.

Auf der dritten Versuchsfläche sind die gekalkten Exemplare erheblich stärker gewachsen als die ungekalkten. Auf der ge-

kalkten Parzelle sind die gepflanzten Reihen noch geschlossen, während sie auf der ungekalkten Lücken aufweisen. Infolge des geringeren Wachstums sind die Exemplare auf der ungekalkten Parzelle kleiner, haben kleinere Triebe und kleinere Nadeln, auch sind diese vielfach gelb. Nach den Messungen an je einem Exemplar schwankt die Länge der Nadeln von 1911 beim ungekalkten Exemplar zwischen 3,75 und 4,25 cm, beim gekalkten zwischen 6 und 7 cm.

Die Kiefer und die Krummholzkiefer lassen also schon im zweiten Jahre nach ihrer Pflanzung eine deutliche Begünstigung des Wachstums durch die Kalkung des Bodens erkennen.

Birke: Der Unterschied im Wachstum der gekalkten und ungekalkten Exemplare auf der ersten Versuchsfläche ist sehr bedeutend, das Wachstum der ungekalkten Exemplare ist sehr gering, das der gekalkten gut, wenn auch nicht so gut wie auf den beiden anderen Versuchsflächen. Es wurde je ein Exemplar ausgegraben, dessen Wuchsverhältnisse als charakteristisch für die beiden Parzellen gelten konnten.

Das näher untersuchte ungekalkte Exemplar war über der Erde 20 cm hoch, war unverzweigt und trug 11 kleine Blätter. Die Dimensionen der größten waren 25 : 21, 30 : 28, 25 : 22, 25 : 22, 19 : 22 mm. Das Wurzelsystem dieser kleinen Pflanze drang ziemlich tief in den Boden ein.

Das gekalkte Exemplar war über der Erde 57 cm hoch; das Wurzelsystem drang tief in den Boden ein, so daß es nicht unversehrt herausgenommen werden konnte, und war weit ausgebreitet. Soweit es gelang, die Hauptwurzel aus dem Boden herauszuziehen, war sie mindestens 20 cm tief eingedrungen. Die einzelnen seitlichen Wurzelverzweigungen waren 50, 60 und 70 cm lang. Die letzten obersten Triebe des Stammes waren 28—30 cm, beim ungekalkten Exemplar nur 7 cm lang. Außerdem war dies gekalkte Bäumchen in der Krone reich verzweigt. Die Blätter waren erheblich größer als beim ungekalkten Exemplar: 5,1 : 4,5, 3.5 : 3, 3,6 : 3,4, 3,5 : 3, 5,5 : 5,5, 4,4 : 3,7, 3,6 : 2,9 cm.

Bei der zweiten Versuchsfläche stand die Birke sehr gut auf der gekalkten, schlecht auf der ungekalkten Parzelle, aber auf beiden Parzellen besser als auf der Versuchsfläche 1. Es wurden wieder von jeder Parzelle Exemplare, die das durchschnittliche Verhalten der beiden Flächen wiederzuspiegeln schienen, untersucht, und zwar zwei Exemplare von der ungekalkten, eins von der gekalkten Parzelle. Das eine ungekalkte Exemplar hatte eine Höhe von 58 cm über der Erde,

seine größten Blätter hatten eine Fläche von 5,5 : 4,5. Ein zweites Exemplar war 44 cm über der Erde hoch, und sein größtes Blatt hatte eine Fläche von 3,5 : 2,5. Das gekalkte Exemplar hatte eine Höhe über der Erde von 88 cm, der Stamm an der dicksten Stelle einen Durchmesser von 9 mm; die Größe der Blätter betrug 6 : 5 cm.

Die Birken standen auf der gekalkten Parzelle der dritten Versuchsfläche sehr gut, nicht viel schlechter auf der ungekalkten. Auf dieser letzteren war eine Reihe teilweise lückig; die Blätter der ungekalkten Exemplare waren vielfach gelblich gerändert. Die Stämmchen der gekalkten Exemplare waren etwas höher und die letzten Triebe etwas länger als bei den ungekalkten Exemplaren. Die Größenverhältnisse der Blätter waren bei den gekalkten Exemplaren durchschnittlich 4,5 : 4,4, 3,9 : 3,5 cm, bei den ungekalkten Exemplaren 3,1 : 2,9 cm.

Auf den ungekalkten Parzellen der zweiten und dritten Versuchsfläche bessert sich das Wachstum unverkennbar gegenüber der ersten Versuchsfläche. Eine günstige Einwirkung der Kalkung auf die Entwicklung der Birken ist unverkennbar. Es ist zu erwarten, daß mit der Zeit der Unterschied im Wachstum der Birken auf den drei Versuchsflächen noch deutlicher hervortreten wird.

Bergahorn: Bei der ersten Versuchsfläche waren auf der ungekalkten Parzelle die Exemplare nicht gewachsen oder sahen sehr kümmerlich aus. Auf der gekalkten Parzelle waren sie besser gekommen, aber ein kräftiges Wachstum zeigten sie nicht. Die nähere Untersuchung einiger Exemplare ergab Folgendes. Bei den gekalkten Exemplaren war das Wurzelsystem viel kräftiger und ausgebreiteter als bei den ungekalkten. Die Stammhöhe war bei beiden ungefähr gleich. Die Länge der Triebe aus den beiden letzten Jahren war, absolut genommen, nicht groß, beim gekalkten Exemplar immerhin größer als beim ungekalkten. Die Belaubung war beim gekalkten Exemplar viel bedeutender als beim ungekalkten, auch waren die Blätter größer. Die Blattflächen der gekalkten und ungekalkten Exemplare verhielten sich wie $7 \times 9 : 5 \times 8$. Bei den gekalkten Exemplaren war der Farbenton der Blätter normalgrün, bei den ungekalkten gelblich.

Auf der ungekalkten Parzelle der zweiten Versuchsfläche hatten die Pflanzen keine Triebe gebildet. Die Blätter standen am Ende der Achse in geringer Zahl dicht zusammen. Auf der gekalkten Parzelle waren die Triebe nur kurz, aber die Belaubung üppiger

und die Blätter größer. Die durchschnittliche Größe der Blätter betrug beim ungekalkten Exemplar 5,2 × 6 cm, bei dem einen gekalkten 5,4 × 6,9 cm, beim anderen gekalkten 7,4 × 10,45 cm.

Bei der dritten Versuchsfläche waren auf der gekalkten Parzelle ganz kräftige Exemplare vorhanden, die ziemlich reichlich belaubt waren und verhältnismäßig große Blätter hatten. Auf der ungekalkten Parzelle waren die Exemplare durchweg kleiner, hatten sehr kleine Triebe und erheblich kleinere Blätter als die ungekalkten. Die durchschnittliche Größe der Blätter betrug bei den gekalkten Exemplaren 9 × 11, bei den ungekalkten Exemplaren an einem Sproß 7 × 9,4, an einem anderen Sproß 5,6 × 5,8 cm. Auf der ungekalkten Parzelle waren etliche Exemplare tot.

Die günstige Einwirkung der Kalkung auf das Wachstum des Ahorns tritt auf allen Versuchsflächen hervor, am meisten auf der dritten, am wenigsten auf der ersten. In Anbetracht der kurzen Triebe, welche die Pflanzen auf den ungekalkten und zum Teil auch auf den gekalkten Parzellen gemacht haben, ist zu erwarten, daß mit der Zeit ein großer Teil dieser Pflanzen zugrunde gehen wird.

Eiche: Die Eichen standen auf der ungekalkten Parzelle der ersten Versuchsfläche kümmerlich, auf der gekalkten Parzelle erheblich besser. Auf beiden Parzellen wurde je ein Exemplar herausgenommen, das nach seinen Wuchsverhältnissen als passender Repräsentant gelten konnte. Das gekalkte Exemplar hatte ein viel größeres Wurzelsystem gebildet als das ungekalkte. Die Belaubung war beim gekalkten Exemplar beträchtlicher als beim ungekalkten; auch waren die Blätter etwas größer. Die Länge der Blätter betrug beim gekalkten Exemplar im Durchschnitt von 27 5,4, beim ungekalkten im Durchschnitt von 26 4,7 cm.

Bei der zweiten Versuchsfläche machten die Eichen auf der gekalkten Parzelle einen besseren Eindruck als auf der ungekalkten. Sie hatten längere Triebe und dunkleres Laub, während Unterschiede in der Blattgröße nicht stark hervortraten.

	Höhe des Stammes	Anzahl der Blätter	Durchschnittliche Länge der Blätter
Gekalkt 1 . . .	30 cm	33	6,4 m
„ 2 . . .	45 „	33	5,2 „
Ungekalkt 1 . .	40 „	35	6,2 „
„ 2 . .	45 „	36	5,4 „

Auf beiden Parzellen der dritten Versuchsfläche war eine Anzahl von Exemplaren ausgegangen, aber wahrscheinlich nicht infolge der Bodenbeschaffenheit. Im Durchschnitt stand die Eiche auf der gekalkten Parzelle besser als auf der ungekalkten. Die Blätter der gekalkten Exemplare waren dunkler grün als die der ungekalkten. In den Messungen traten die Unterschiede zwischen gekalkten und ungekalkten Exemplaren auch hervor. Es wurde ein ungekalktes Exemplar abgeschnitten, dessen Stammhöhe 43 cm betrug. Die durchschnittliche Länge der Blätter (aus 23) betrug 7 cm. Von den gekalkten Exemplaren waren zwei abgeschnitten worden. Das eine war reich verzweigt, sein Stamm 40 cm hoch und reichlich beblättert. Das andere Exemplar war nicht so stark verzweigt, sein Stamm 46 cm hoch, die durchschnittliche Länge seiner Blätter (aus 29) betrug 9,1 cm.

Der Einfluß des ungekalkten Bodens erweist sich auch auf die gepflanzten Eichen als ungünstig; am schärfsten tritt er auf der ersten Versuchsfläche hervor. Auf den beiden folgenden Flächen verbessern sich die Verhältnisse immer mehr. Das gleiche Verhältnis lassen auch die gekalkten Eichen erkennen, doch ist der Abstand in der Entwicklung zwischen erster und zweiter Versuchsfläche bedeutender als zwischen zweiter und dritter. Weitere Beobachtungen müssen darüber entscheiden, ob die Eichen sich dauernd auf der ungekalkten Parzelle der ersten Versuchsfläche halten können.

Niemals wurden auf den drei Versuchsflächen weder an den ausgesäten noch den ausgepflanzten Gewächsen Erscheinungen beobachtet, die als Rauchschäden, hervorgerufen durch eine direkte Einwirkung des Hüttenrauchs auf die Blattorgane, betrachtet werden müssen.

Der Boden dieser drei Versuchsflächen erwies sich als unfähig die ausgesäten Pflanzenarten Fichte, Kiefer, Krummholzkiefer, Birke, Schwarzerle, Spitzahorn, Bergahorn, *Robinia pseudacacia*, *Ulex europaeus*, *Spartium scoparium*, *Phaseolus vulgaris*, *Lupinus luteus* und *L. angustifolius* zu tragen. Es sind entweder gar keine Pflanzen gewachsen, oder die gewachsenen sind nach dem ersten Sommer zugrunde gegangen. Die Eiche hat die Möglichkeit, auf allen drei Versuchsflächen zu existieren, die Rotbuche vielleicht auf der zweiten und dritten. Aber die Hervorbringung von normalen Bäumen kann wohl als ausgeschlossen gelten.

Der Kalkzusatz hat für alle ausgesäten Pflanzen ein zum Teil kräftiges Wachstum ermöglicht, und es kann erwartet werden, daß die meisten der ausdauernden Gewächse, wenigstens auf der zweiten und dritten Versuchsfläche normal weiter wachsen werden.

So weit nach zwei Vegetationsperioden geurteilt werden kann, stehen die ausgepflanzten Bäume auf den ungekalkten Parzellen besser als die ausgesäten. In allen Fällen ist eine ansehnliche Förderung des Wachstums durch den Kalkzusatz zum Boden zu verzeichnen. Für einzelne Arten wie z. B. Bergahorn scheint dieser Zusatz noch nicht einmal hoch genug bemessen zu sein. Vermutlich gehen mit der Zeit, vielleicht mit Ausnahme der Eiche, die jetzt noch vorhandenen Exemplare auf den ungekalkten Parzellen zugrunde.

Das schlechte Wachstum aller Pflanzen auf dem Boden unserer Versuchsflächen ist wie bei der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf auf die Entkalkung zurückzuführen, da die Pflanzen wieder wachsen, wenn dem Boden Kalk zugesetzt wird.

Wie das Verhalten der meisten Pflanzen, soweit sie überhaupt gekommen sind, erkennen läßt, ist die Beschaffenheit des Bodens der drei Versuchsflächen verschieden. Infolgedessen ist das Wachstum derselben Pflanzenart auf den Versuchsflächen verschieden gut. Im großen und ganzen ist es am besten auf der dritten, am schlechtesten auf der ersten Versuchsfläche, doch ist der Unterschied zwischen der dritten und zweiten geringer als zwischen der zweiten und ersten Versuchsfläche. Es harmoniert dies Verhalten mit dem der natürlichen Vegetation. Die erste Fläche war frei von Vegetation, die zweite war von der genügsamen Heide besiedelt, die dritte von dem anspruchsvolleren Grase. Mit wachsender Entfernung von der Rauchquelle bessert sich demnach der Boden, wahrscheinlich, weil sein Kalkgehalt zunimmt, wie wir nach dem Verhalten der ausgesäten und ausgepflanzten Gewächse annehmen dürfen. Im großen und ganzen ist das Verhalten der Pflanzen auf den gekalkten Parzellen analog, doch kommen hier Abweichungen vor, welche vielleicht mit der Kalkung zusammenhängen. So ist das Wachstum von Buche und Akazie auf der zweiten Versuchsfläche besser als auf der dritten, und bei *Lupinus luteus* sogar auf der ersten besser als auf den beiden anderen.

Ebensowenig, wie die meisten ausgesäten Pflanzen auf dem ungekalkten Boden wuchsen, ebensowenig finden sich im Boden die Bedingungen für die Entwicklung der Knöllchenbakterien.

Die Knöllchen fehlen allen Leguminosen auf den ungekalkten Parzellen und sind mehr oder weniger reichlich auf den gekalkten Parzellen aufgetreten und zwar an allen Leguminosenarten mit Ausnahme von *Lupinus angustifolius*.

Nicht minder bezeichnend ist das Erscheinen von Unkräutern auf unseren Versuchsflächen. Am 21. August 1911 wurde Folgendes darüber festgestellt. Bei der ersten Versuchsfläche waren Unkräuter nur auf der gekalkten Parzelle aufgetreten und zwar folgende Gattungen und Arten: *Epilobium angustifolium* L., *Senecio viscosus* L., *Veronica officinalis* L., *Melandryum rubrum* Grcke., *Digitalis purpurea* L., *Salix Caprea* L., *Rumex*, *Sambucus*, *Tussilago Farfara* L., *Carex*-Art, Gras.

Bei der zweiten Versuchsfläche wurden auf der ungekalkten Parzelle nur wenig Gras und eine *Galium*-Art angetroffen. Auf der gekalkten Parzelle waren vorhanden: *Epilobium angustifolium* L., *Rumex*, *Scirpus*, *Sambucus*, *Scrophularia* (wohl *nodosa*) und Gras, letzteres aber nicht so reichlich wie auf der dritten Versuchsfläche. Bei der dritten Versuchsfläche war die Unkrautflora auf der ungekalkten Parzelle stärker entwickelt. Es war reichlich Gras vorhanden, dieselbe Grasart, die in der Nachbarschaft und auf den anderen Versuchsflächen aufgetreten war. Daneben fand sich eine zweite Grasart und eine unbestimmbare dikotyle Pflanze. Auf der gekalkten Parzelle hatte sich das Gras mächtig entwickelt. Außerdem waren vorhanden: Klee, *Rumex*, *Sambucus*, *Scirpus*, *Galium*, *Cerastium*, *Epilobium angustifolium* L., *Veronica officinalis* L., *Populus tremula* L., *Rubus Idaeus* L., *Salix Caprea* L.

Aus dem Verhalten der Unkräuter auf unseren Versuchsflächen ergibt sich wie aus dem der ausgesäten Pflanzen, daß mit der wachsenden Entfernung von der Rauchquelle der Boden sich bessert. Die ungekalkte Parzelle der ersten Versuchsfläche ist natürlich, wie es gar nicht anders erwartet werden konnte, ganz frei geblieben von irgend einem Unkraut. Auf der ungekalkten Parzelle der zweiten Versuchsfläche war etwas Gras von derselben Art, wie es die Abhänge in der Nachbarschaft bedeckt, und eine *Galium*-Art, wie sie in den benachbarten Waldungen auftritt, vorhanden, eine kärgliche Flora sowohl hinsichtlich der Arten wie der Individuen. Es war dies die Fläche, die vorher mit Heidekraut bewachsen war. Auf der ungekalkten Parzelle der dritten Versuchsfläche war reichlich Gras gewachsen von derselben Art wie auf der zweiten Versuchsfläche. Daneben trat eine andere Grasart und eine dikotyle

Pflanze in einigen Exemplaren auf. Dies ist die Fläche, die vorher mit Gras bestanden war, und die sich nun schnell wieder namentlich mit Gras besiedelte. Aus dem massenhaften Auftreten des Grases und dem Vorhandensein noch zweier anderer Gewächse ergibt sich, daß der Boden für Pflanzenproduktion geeigneter ist als die beiden vorhergehenden Versuchsflächen. So bestätigen diese Flächen unsere Voraussetzung, daß sich mit wachsender Entfernung von der Hütte der Boden bessert. Andererseits zeigt aber das Verhalten der Unkräuter auf den gekalkten und ungekalkten Versuchsflächen, daß auch schon die dritte Versuchsfläche sehr kalkarm sein muß, da auf ihr alle die Unkräuter, welche in den nicht beräucherten Waldungen oder Lichtungen auftreten, erst auf Zusatz von Kalk erscheinen wie auf den beiden anderen Versuchsflächen und auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Daß auf den verschiedenen Versuchsflächen nicht immer die gleichen Unkräuter auftreten, dürfte ein reiner Zufall sein. Aus dem Verhalten der Unkräuter auf unseren Versuchsflächen dürfen wir weiter schließen, daß auf dem ganzen Gebiet im Claustaler Rauchschadengebiet, wo wir die einfache Grasbedeckung haben, der Boden so an Kalk verarmt ist, daß außer dem einen nicht blühenden Grase keine anderen Pflanzen wachsen können. Weitere Beobachtungen müssen entscheiden, ob man vielleicht berechtigt ist, aus der Abwesenheit von Unkräutern auf baumlosem Waldboden auf Entkalkung des Bodens zu schließen.

3. Die Versuchsflächen in der Oberförsterei Grund.

Auf S. 14 wurden die Versuche erwähnt, welche in der Oberförsterei Grund in drei Anflugshorsten ausgeführt worden sind und auf S. 19 wurden die Ergebnisse der Versuche hinsichtlich des Höhenwuchses der Fichten mitgeteilt. Es bleibt nun noch übrig, kurz über die Versuche mit den ausgesäten Leguminosen zu berichten.

Am 24. August 1910 wurden die Versuchsflächen besucht. Auf den gekalkten Parzellen der zweiten und dritten Versuchsfläche hatten sich verschiedene Unkräuter eingefunden, während die ungekalkten Parzellen frei von Vegetation oder mit etwas Moos und Gras bewachsen waren. Auf der ersten Versuchsfläche war das Wachstum von Akazie und Besenstrauch nicht besonders gut. Auf der ungekalkten Parzelle ist der Besenstrauch etwas schlechter

gekommen als auf der gekalkten, wie aus der Abbildung 22 auf S. 53 Reihe 6 und 7 ersichtlich ist. Auch die Akazie ist etwas besser gekommen auf der gekalkten als auf der ungekalkten Parzelle.

Bei der zweiten Versuchsfläche waren Akazie und Besenstrauch auf der ungekalkten Parzelle nur kümmerlich gekommen. Auf der gekalkten Parzelle war die Akazie besser und der Besenstrauch sogar gut gekommen, doch wurden die jungen Pflanzen vom Unkraut stark bedrängt. Auf der ungekalkten Parzelle der dritten Versuchsfläche war die Akazie gar nicht und der Besenstrauch nur in einigen kümmerlichen Exemplaren aufgetreten. Auf der gekalkten Parzelle waren die Pflanzen gut gekommen, Akazie sogar sehr gut.

Bei der Besichtigung im folgenden Jahre war auf der ersten Versuchsfläche nichts mehr von der Akazie vorhanden, während der Besenstrauch auf beiden Parzellen, auf der gekalkten vielleicht in etwas größerer Menge, vorhanden war. Ein Zuwachs war kaum zu beobachten. Auf den beiden anderen Versuchsflächen war nichts mehr von den ausgesäten Pflanzen vorhanden, vielleicht waren die Pflanzen durch das Unkraut unterdrückt worden, das sich auf den gekalkten Parzellen dieser beiden Flächen kräftig entwickelt hatte.

Auf der ersten Versuchsfläche waren auf beiden Parzellen dieselben Unkräuter aufgetreten, auf der gekalkten nur reichlicher, und zwar Heide, etwas Gras, eine *Polytrichum*-Art und *Funaria hygrometrica*. Auf der zweiten Versuchsfläche war die Stelle, wo die ausgesäten Pflanzen im vorhergehenden Jahre gestanden hatten, vollkommen leer geblieben, sonst traten auf der Fläche Heidelbeere und Gras auf. Dagegen hatten sich auf der gekalkten Fläche *Digitalis, Campanula, Galium*, Heidelbeere, Gras, Binse, *Polytrichum, Funaria* und *Marchantia* eingefunden. Bei der dritten Versuchsfläche waren an Stelle der auf der ungekalkten Parzelle ausgesäten Pflanzen Moos und Heidelbeere aufgetreten, sonst fand sich außer etwas Gras kein Unkraut. Auf der gekalkten Parzelle standen Gras, Heidelbeere, *Tussilago Farfara, Rubus Idaeus*, eine unbestimmte dikotyle Pflanze, ein unbestimmbares Farnkraut, *Funaria* und *Marchantia*.

Aus dem Verhalten der Unkräuter wird man wohl den Schluß ziehen müssen, daß der Boden der ersten Versuchsfläche sehr unvorteilhaft ist, da selbst durch den Kalkzusatz noch nicht die Bedingungen für eine etwas reichere Unkrautflora geboten wurden, wie sie auf den beiden folgenden Flächen auftrat, sondern,

daß im wesentlichen nur dieselben Pflanzen zum Vorschein kamen, welche sich auch auf der ungekalkten Parzelle einfanden, wie Moose und Heidekraut. Bei den anderen Versuchsflächen hatte sich wie auf den Versuchsflächen im Einersberge eine ähnlichere und reichere Flora eingestellt. Unterschiede dürften hauptsächlich auf die größere Feuchtigkeit und den Baumschatten zurückzuführen sein. Jedenfalls ist auch hier der Boden so kalkarm, daß er außer Gras und Heide und eventuell Moosen keine Unkräuter trägt. Obgleich die Versuchsflächen Bäume tragen, ist ihr Kalkgehalt sehr zurückgegangen, was sich auch in dem geringen Höhentrieb der Fichten ausspricht. Für eine Steigerung seines Wachstums ist ein Zusatz von Kalk zum Boden unerläßlich.

4. Die Versuchsflächen im Einersberg in Distrikt 7.

Auf S. 13 und 19 wurden nähere Angaben über die im Fichtenstangenholz angestellten Versuche gemacht. Hier ist mit Rücksicht auf die Bodenflora auf diese Versuchsfläche zurückgekommen. Unkräuter sind nur auf den gekalkten Parzellen vorhanden und zwar solche, welche an kalkreicheren Stellen im Walde und auf den gekalkten anderen Versuchsflächen auftraten. Daneben beanspruchen die Fichtensämlinge ein gewisses Interesse. Auf der ungedüngten und auf der mit Ammoniumsuperphosphat gedüngten Parzelle sind weniger Sämlinge aufgekommen als auf den gekalkten Parzellen, auch ist ihr Wurzelsystem viel kleiner und kümmerlicher als das der Exemplare von den gekalkten Parzellen, wie die beiden folgenden Abbildungen von ein- und zweijährigen Fichten erkennen lassen.

Die Fichten in der Reihe 1 der Abbildungen 24 und 25 stammen von der ungedüngten, der Reihe 2 und 3 der Abbildung 24 und der Reihe 2 von der Abbildung 25 stammen von der mit Ammoniumsuperphosphat gedüngten Parzelle. Die beiden folgenden Reihen in beiden Abbildungen enthalten Pflanzen von der gekalkten und von der mit Kalk und Ammoniumsuperphosphat gedüngten Parzelle. Die einjährigen ungekalkten Fichten haben ein kümmerliches — die Pflanzen wurden den 18. September 1907 herausgenommen —, die gekalkten ein viel größeres Wurzelsystem. Es kehren etwa dieselben Verhältnisse zwischen gekalkten und ungekalkten Exemplaren wieder, wie wir sie auf den anderen Versuchsflächen beobachtet haben. Noch bedeutender ist der Unterschied in der

Wurzelbildung der zweijährigen Exemplare. Entsprechend dem schattigen und verhältnismäßig feuchten Standorte sind die ober-

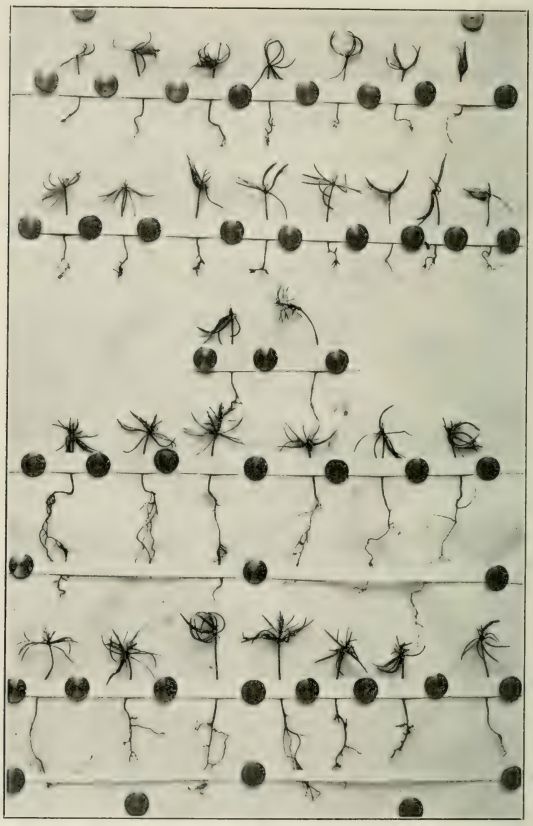


Abb. 24.

Fichten im Einersberge, Distrikt 7. Einjährig. Herausgenommen am 18. September 1907. Vergr. ca. 2 : 5.

1. Reihe: Versuchsfläche, ungekalkt;
2. und 3. Reihe: Versuchsfläche, gedüngt mit Ammoniumsuperphosphat;
4. Reihe: Versuchsfläche, gekalkt;
5. „ : „ , gedüngt mit Kalk und Ammoniumsuperphosphat.

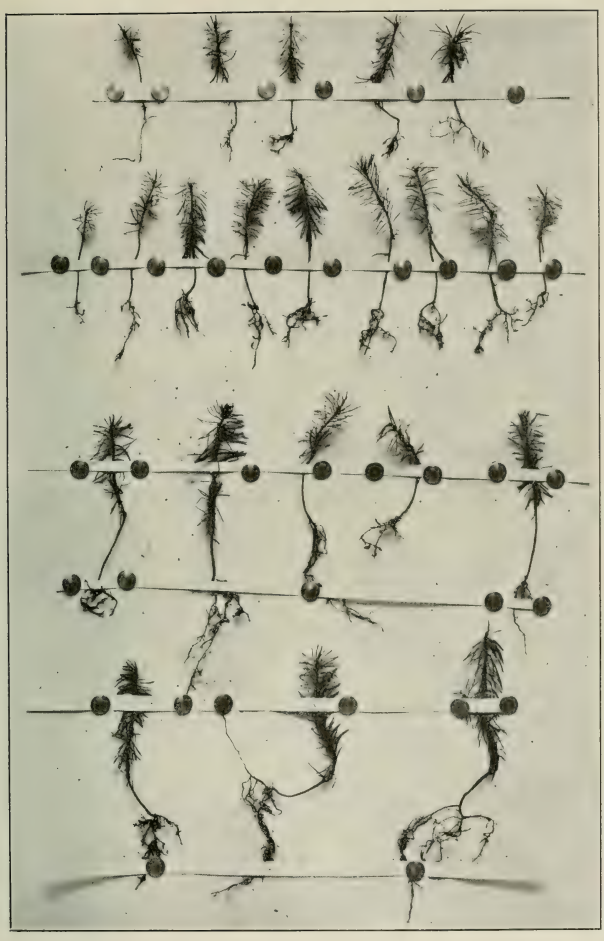


Abb. 25.

Fichten im Einersberge, Distrikt 7. Zweijährig. Herausgenommen am 18. September 1903. Vergr. ca. 1 : 3.

1. Reihe: Versuchsfläche, ungekalkt;
2. „ : „ , mit Ammoniumsuperphosphat gedüngt;
3. „ : „ , gekalkt;
4. „ : „ , gedüngt mit Kalk und Ammoniumsuperphosphat.

irdischen Teile groß mit großen Nadeln. Es ist sehr wahrscheinlich, daß wenn die ungekalkten Exemplare sich ohne Waldesschatten hätten entwickeln müssen, daß dann alle diese einjährigen und zweijährigen Pflanzen zugrunde gegangen wären. Das Verhalten der Fichtensämlinge und das Auftreten der Unkräuter nur auf den gekalkten Parzellen läßt keine andere Deutung zu, als daß auch hier schon eine Entkalkung des Bodens eingesetzt hat, wenn sie auch nicht ganz so bedeutend ist wie in den Anflugshorsten auf der Grunder Seite. Dafür stehen diese Bestände auch etwas weiter entfernt von den Flächen, auf denen der Wald vollständig weggeräuchert worden ist. Daß der Kalkgehalt auch hier schon stark vermindert ist, geht aus der chemischen Analyse hervor, nach der er nur 0,038% beträgt, allerdings ist er immer noch erheblich höher als auf der Versuchsfläche vom Hüttenkopf mit 0,012%.

Im Anschluß hieran mögen Beobachtungen erwähnt werden, die in einem diesem Bestande benachbarten Kamp der Oberförsterei Zellerfeld gemacht wurden. Da man bemerkt hatte, daß die ausgesäten Fichten nicht so gut kommen wollten, wie erwartet, hatte man versucht, ihre Entwicklung durch Kalkung zu begünstigen und zwar mit gutem Erfolge. Die Pflanzen kamen auch ohne Kalkung, waren aber klein und im ganzen weniger kräftig als normale Pflanzen. Auch hatten ihre Nadeln ein gelbliches Aussehen, gelegentlich mit rötlichem Anfluge. Die Exemplare auf den gekalkten Beeten waren schön, kräftig und grün. Vermutlich hatte dieser Waldboden denselben oder noch etwas besseren Kalkgehalt als die Versuchsfläche in Distrikt 7. Der Erfolg dieser Kalkung im Verein mit den Ergebnissen auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf veranlaßte die Oberförsterei, auch ihrerseits einen systematischen Versuch über die Kalkung durchzuführen. Diese Versuchsfläche wurde auf dem Einersberge am Rande des Waldes außerhalb desselben, etwa 100 m von der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf entfernt, angelegt. Es wurde eine größere Zahl von Beeten hergerichtet, die umschichtig gekalkt wurden. Diese Beete wurden teils mit Fichten, die von auswärts bezogen, teils mit Fichten, die an Ort und Stelle geklengt worden waren, besät. Auf den ungekalkten Beeten kamen die Fichten auf, aber die meisten waren schon im Laufe des Sommers wieder eingegangen; es hielten sich nur wenige bis ins nächste Jahr hinein und entwickelten sich weiter. Aber die Pflanzen waren kümmerlich, verglichen mit den gekalkten. In der folgenden Abbildung 26 sind

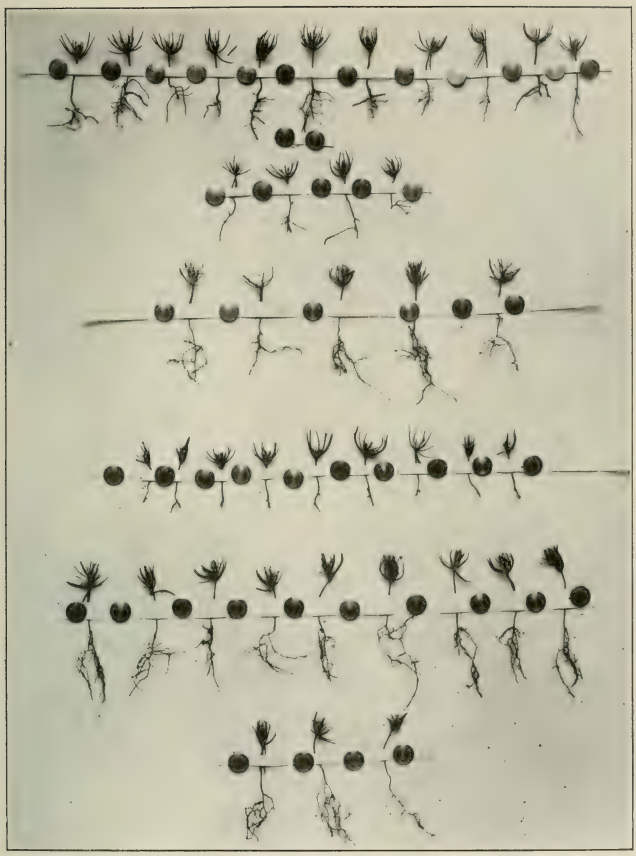


Abb. 26.

Einjährige Fichten aus einem Saatkamp der Oberförsterei Zellerfeld im Einersberge in der Nähe der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Herausgenommen am 18. September 1907. Vergr. ca. 1 : 3.

1. und 2. Reihe: Eigene Saat auf ungekalktem Boden;
3. Reihe: Eigene Saat auf gekalktem Boden;
4. Reihe: Fremde Saat auf ungekalktem Boden;
5. und 6. Reihe: Fremde Saat auf gekalktem Boden.

die ungekalkten Fichten aus eigener Saat in den beiden ersten Reihen, aus fremder Saat in der vierten Reihe, die gekalkten Exemplare aus eigener Saat in Reihe 3 und die gekalkten Exemplare aus fremder Saat in den beiden letzten Reihen wiedergegeben. Es ist sehr interessant, daß die Pflanzen aus der eigenen Saat und

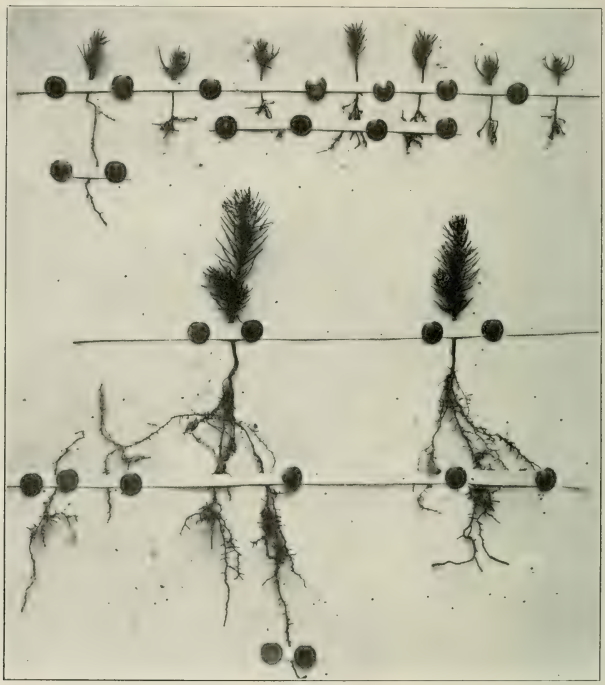


Abb. 27.
Zweijährige Fichten aus einem Saatkamp der Oberförsterei Zellerfeld im Einersberge in der Nähe der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Herausgenommen am 14. Oktober 1908. Aus in der Oberförsterei gewonnener Saat gezogen. Vergr. 2 : 5. 1. Reihe: ungekalkt; 2. Reihe: gekalkt.

aus der fremden sich so sehr verschieden verhalten haben. Während ein Unterschied zwischen den gekalkten Exemplaren nicht vorhanden ist, oder eher zugunsten der aus fremder Saat ausfällt, haben

sich die ungekalkten Exemplare aus der eigenen Saat erheblich besser entwickelt als die aus fremder Saat. Und es ist die einheimische Saat, von denen sich einzelne Exemplare bis in das folgende Jahr hinein erhalten und weiter entwickelt haben. Solche Exemplare führt uns die Abbildung 27 in der ersten Reihe vor. Im zweiten Jahre ist der Unterschied zwischen den gekalkten und ungekalkten Exemplaren noch viel bedeutender, wie die beiden Pflanzen aus der zweiten Reihe zeigen[1]). Die einheimische Saat scheint nach diesem Versuch an einen geringeren Kalkgehalt angepaßt zu sein als die fremde. Die Ergebnisse dieses mit einem großen Pflanzenmaterial durchgeführten Versuches bestätigen in ausgezeichneter Weise die Ergebnisse auf unseren verschiedenen Versuchsflächen.

5. Versuche in der Oberförsterei Claustal.

Es steht mir noch eine weitere Beobachtung über die Bodenverschlechterung und zwar aus der Oberförsterei Claustal zur Verfügung. Das durch Hüttenrauch entwaldete Gebiet erstreckt sich südlich von der Hütte, wenn auch in viel geringerer Ausdehnung als nördlich, und zwar den Hüttenberg, auf dem der Kamin steht, hinan und im obersten Innerstetal am Paulwasser hinauf. Nach Ansicht der Forstbeamten sollen seit Errichtung des Kamins die Waldungen in der Oberförsterei Claustal mehr leiden als früher. Auf dem Paulwasser ist bis zu einer bestimmten Grenze der Wald vernichtet. 1908 standen noch die abgestorbenen Stämme, die inzwischen umgeschlagen worden sind. Nach Ansicht der Forstbeamten ist dieser Bestand durch die direkte Einwirkung des Hüttenrauches auf die Nadeln zerstört worden. Diese Möglichkeit ist durchaus nicht zu leugnen, da die Entfernung von der Hütte nicht sehr bedeutend ist. Unter allen Umständen muß aber auch der Boden dieses Bestandes stark von den sauren Gasen beeinflußt worden sein. Es ist nun ein Versuch ausgeführt worden, der einen Schluß gestattet, ob es der Fall ist. Der Versuch wurde zunächst aus einem ganz anderen Gesichtspunkte angestellt, worauf ich später eingehen werde. Im Frühjahr 1910 wurden auf dem Abhange von Paulwasser 20 Reihen Fichten angepflanzt, von denen 10 Reihen eine

[1]) Herrn Forstmeister Steppuhn danke ich verbindlichst, daß er mir gestattet hat, von diesem Versuch zu meiner Veröffentlichung Gebrauch zu machen.

Kalkdüngung mit Staubkalk erhielten. Schon im August 1910 machte sich ein Unterschied zwischen den gekalkten und ungekalkten Exemplaren bemerkbar. Die gekalkten Exemplare hatten durchschnittlich reichlicher und besser ausgetrieben als die ungekalkten, auch sahen sie normalgrün aus, während diese einen gelblichen Farbenton hatten, wenn auch unter ihnen einzelne grüne waren. Irgend welche Spuren von Rauchbeschädigung waren an den Nadeln nicht vorhanden. Ein Jahr später standen die ungekalkten Exemplare durchschnittlich schlechter als die gekalkten; diese waren etwas größer und kräftiger als jene, auch waren sie vorwiegend grün gefärbt, während von den ungekalkten sehr viele gelb waren. Das ungleiche Verhalten der gekalkten und ungekalkten Exemplare deutet darauf hin, daß auch hier der Boden entkalkt ist, bis zu welchem Grade müssen die Beobachtungen der nächsten Jahre entscheiden. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die ungekalkten Exemplare im Laufe vielleicht des nächsten Jahres zugrunde gehen, vergingen doch auch auf dem Hüttenkopf des Einersberges mehrere Jahre, ehe die gepflanzten Fichten abgestorben waren.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Das Ergebnis aller Versuche und der sonstigen Erfahrungen läßt sich dahin zusammenfassen, daß das große entwaldete Gebiet bei der Frankenscharrnhütte, das sich von oberhalb der Hütte bis Wildemann erstreckt, vielleicht darüber hinaus, ob es vegetationslos oder mit Heide oder mit Gras bewachsen, soweit entkalkt ist, daß der Boden keine anspruchsvolleren Gewächse, geschweige denn Holzgewächse hervorzubringen vermag, und daß es auf diesen Umstand und nicht auf eine direkte Einwirkung des Hüttenrauchs auf die Pflanzen zurückzuführen ist, wenn die Vegetation immer weiter zurückgegangen ist und zurückgeht und schließlich einer richtigen Blöße Platz gemacht hat oder Platz macht. Diese Entkalkung bereitet sich zurzeit, wo die Wälder noch stehen, vor, wie aus dem Verhalten der Fichten und der Bodenvegetation in den Anflugshorsten der Grunder Oberförsterei und aus den Wuchsverhältnissen der Fichtensämlinge und der Verteilung der Unkräuter auf den Versuchsflächen des Fichtenstangenortes des Distriktes 7 im Einersberge hervorgeht. Die Entkalkung ist also ein allmählich fortschreitender Vorgang, der einen wichtigen Anteil an der Zerstörung der Wälder nehmen muß, bei der Frankenscharrn-

hütte, wenigstens in einer bestimmten Entfernung von derselben, vielleicht die einzige Ursache der Zerstörung gewesen ist.

Eine systematische chemische Untersuchung des Bodens im entwaldeten Gebiete und in den angrenzenden Wäldern würde, wie nach den wenigen mir zur Verfügung stehenden Daten mit Sicherheit erwartet werden kann, die Folgerungen bestätigen, die aus den Ergebnissen unserer biologischen Methode gezogen wurden.

Der Boden von der Versuchsfläche vom Hüttenkopf ist im Bodenkundlichen Laboratorium der Kgl. Forstakademie Eberswalde analysiert worden[1]). Der lufttrockne Feinboden enthielt:

Tonerde	3,76 %
Eisenoxyd	4,15 „
Kalk	0,012 „
Magnesia	0,39 „
Kali	0,23 „
Natron	0,09 „
Schwefelsäure . . .	0,062 „
Phosphorsäure . . .	0,157 „

Dieser Kalkgehalt ist so gering, daß ein Wachstum von Waldbäumen ausgeschlossen ist.

Es wurde auch der Kalkgehalt des Bodens von der Versuchsfläche im Fichtenstangenort im Einersberge ermittelt, er betrug 0,038 %. Er ist gleichfalls gering, verglichen mit dem Gehalt des Bodens an den anderen notwendigen mineralischen Nährstoffen, aber er übertrifft den der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf um das Dreifache.

Mir stehen noch einige andere Angaben zur Verfügung. Ich habe je eine Bodenprobe von den drei neuen Versuchsflächen im Einersberge und den drei Anflugshorsten in der Oberförsterei Grund von anderer Seite analysieren lassen. Die Proben waren aus der obersten 15—20 cm tiefen Schicht entnommen worden. Die Angaben beziehen sich auch wieder auf lufttrocknen Boden:

Neue Versuchsfläche 1 . .	0,020 %
„ „ 2 . .	0,020 „
„ „ 3 . .	0,045 „
1. Grunder Versuchsfläche .	0,028 „
2. „ „ .	0,033 „
3. „ „ .	0,017 „

[1]) Ich ergreife hier die Gelegenheit, um dem Vorstande des Laboratoriums, Herrn Prof. Dr. Albert, meinen verbindlichsten Dank für Ausführung der Analysen auszusprechen.

Diese Zahlen lassen erkennen, daß auf allen diesen Versuchsflächen der Kalkgehalt ein geringer ist, aber sie stehen, wenigstens die für die drei Versuchsflächen im Einersberge ermittelten, in schlechtem Einklang miteinander und mit den von dem Bodenkundlichen Laboratorium in Eberswalde ermittelten Werten. Ich teile deshalb die Zahlen unter Vorbehalt mit; eine nochmalige Prüfung des Kalkgehaltes wäre wünschenswert. Es erscheint mir sehr unwahrscheinlich, daß die dritte Versuchsfläche einen so hohen Gehalt wie 0,045 % haben soll, während der Kalkgehalt des Bodens im Fichtenstangenort 0,038 % beträgt. Nach den Analysen sollen die erste und zweite Versuchsfläche den gleichen Kalkgehalt haben, was man nach den Wuchsverhältnissen der Pflanzen auf ihnen nicht erwartet haben würde. Auch muß es überraschen, daß die erste Versuchsfläche einen höheren Kalkgehalt haben soll als die Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf, obgleich auf ihr nichts wächst, während diese wenigstens Heidekraut trägt. Besser harmoniert der Kalkgehalt der drei Grunder Versuchsflächen. Den geringsten Kalkgehalt hat die entfernteste Fläche. Das ist zunächst auffällig, aber es ist sehr wohl möglich, daß sie vom Rauch stärker betroffen wird oder wurde, als die beiden anderen. Dazu paßt gut, daß ihr Boden erheblich saurer ist als der der beiden anderen. Der Anflugshorst 2 enthält ungefähr die gleiche Kalkmenge wie der Fichtenstangenort im Einersberge, 0,033 : 0,038 %. Er ist reicher an Kalk als die erste Versuchsfläche, was mit dem Wuchs und der Entwicklung der Fichten auf den beiden Flächen gut zusammenstimmt. Der Kalkgehalt von 0,028 % auf dieser Versuchsfläche scheint im Einklang zu stehen mit der Vegetation, die sich hier freiwillig angesiedelt hat.

Soweit man aus der Azidität des Bodens einen Schluß auf seinen Kalkgehalt machen darf, erweist er sich in dem ganzen Gebiete als sehr kalkarm, denn er ist überall sehr sauer, soweit ich ihn untersucht habe. So habe ich den Boden auf mehreren Rücken unterhalb der Versuchsflächen bis zu Entfernungen von $2^1/_4$ km von der Hütte geprüft. Es waren das Rücken, auf denen vereinzelte ältere Bäume, teils Fichten, meistens Kiefern, standen, augenscheinlich die Überreste geschlossener Bestände. Die Bestimmungen wurden mit 10 % essigsaurem Kalk ausgeführt (siehe S. 157). 100 g Boden absorbierten aus der Lösung des essigsauren Kalks an den vier untersuchten Standorten 1,194, 1,138, 1,548, 1,473 g CaO.

Welches ist die Ursache dieser Entkalkung des Bodens? Da sie in einem Gebiete beobachtet wird, das sich so weit erstreckt, als etwa die Wirkung des Hüttenrauchs reicht, muß sie in einem Zusammenhang mit dieser stehen. Dafür spricht auch die Zunahme des Kalkgehaltes des Bodens mit zunehmender Entfernung von der Rauchquelle nach allen Richtungen hin, soweit das aus der Besserung des Wachstums der Pflanzen zu erschließen ist. Wenn die schweflige Säure, die sich bei Gegenwart von Wasser leicht zu Schwefelsäure oxydiert, und etwa schon in der Luft gebildete Schwefelsäure auf den Boden niederfallen, so verbinden sie sich mit dem Kalk zu Gips, und wenn dieser auch schwer löslich ist, so kann er doch durch Regenwasser ausgewaschen werden, da er ganz allmählich entsteht. Mit der Bildung und der Auswaschung des Gipses dürfte die Entkalkung des Bodens beginnen. Mit der Zeit mag sich je nach den herrschenden Umständen die Wirkung der mehr und mehr anwachsenden Humussäuren und die lösende Wirkung der Kohlensäure auf den Kalk hinzugesellen[1]). Der Entkalkungsvorgang nimmt seinen Anfang, wie die Bodenverhältnisse im Fichtenstangenorte im Einersberge und im benachbarten Kampe im Distrikt 7 einerseits und der Anflugshorste 2 und 3 auf der Grunder Seite erkennen lassen, in den geschlossenen Beständen, denn die sauren Gase dringen in sie ein und müssen hier ihre zerstörende Wirkung auf den Boden ausüben. Wislicenus hat durch eine umfangreiche Untersuchung festgestellt, daß „die schweflige Säure nur wenig geschwächt ins Innerste der Bestände vordringt“[2]). Die von ihm untersuchten Waldungen lagen 8000—13500 m von der Rauchquelle, der Halsbrücker Esse bei Freiberg in Sachsen, entfernt. Bei dieser großen Entfernung absorbierten die im Walde aufgehängten, mit Baryumkarbonat getränkten Zeuglappen durchschnittlich in einem Tage, auf den Quadratmeter Trockensubstanz der Rahmenfläche bezogen, 0,0030 g SO_2. Die gleiche Menge Trockensubstanz der Fichtennadeln absorbierte etwa die Hälfte dieser Menge. Daraus darf man schließen, daß ein erheblicher Teil der in die Bestände eindringenden Säure auf den Boden fällt. Aus den Beständen kann sie nicht wieder heraus, sie muß durch ihr eigenes Gewicht

---

[1]) Vergl. Ramann, Bodenkunde. 3. Auflage 1911, S. 86.

[2]) Nachweis der schwefligen Säure in der Waldluft des Tharander Waldes. Tharander forstl. Jahrbuch, Bd. 48, S. 183.

niedersinken oder wird durch Nebel, Regen oder Schnee zu Boden gerissen.

Je näher die Bestände an die Rauchquelle heranreichen, um so höher wird der Säuregehalt der in sie eindringenden Luft, um so höher wird dann auch der absolute Betrag der Säuremenge sein, der auf den Boden gelangt. Bei der Frankenscharrnhütte war ursprünglich die ganze Umgebung bewaldet, die Entfernung, welche der Rauch zu durchmessen hatte, bis er auf den Wald stieß, war anfänglich sehr gering, wuchs mit der Vernichtung der Wälder durch den Rauch, beträgt aber bis Wildemann immerhin nur $3^1/_2$ km. Verhältnismäßig viel höhere Konzentrationen müssen hier in die Wälder gelangt sein als in den von Wislicenus untersuchten Tharander Wald. Mit der Zerstörung der Wälder muß dann infolge der wachsenden Entfernung die Konzentration der Säure in der Luft gesunken sein, so daß die Zerstörung der Wälder und die Entkalkung des Bodens ein langsameres Tempo eingeschlagen haben werden.

Auf den entwaldeten Flächen hat vermutlich die Entkalkung des Bodens langsamere Fortschritte gemacht, weil ein großer Teil der Säure, der früher in den Wäldern zurückgehalten wurde, durch die Luftströmungen weiter fortgeführt worden sein wird.

Natürlich kann die Säure immer nur bis zu einer bestimmten Tiefe in die geschlossenen Bestände eindringen, und damit ist der Vernichtung der Wälder zunächst eine bestimmte Grenze gezogen. Wenn aber erst der Boden des äußeren Teils des Waldes soweit entkalkt ist, daß die Bäume absterben, dann kann die Säure wiederum entsprechend tiefer in die Bestände eindringen. So erklärt sich ungezwungen das allmähliche Vordringen des Rauchschadens, das Zurückschieben der Waldgrenze. Eine systematische Untersuchung der Böden in der Umgebung der Frankenscharrnhütte unter einwandfreier Probeentnahme würde gewiß analoge Ergebnisse zutage fördern, wie die Untersuchung von v. Schroeder und Reuß über den Gehalt der Fichtennadeln an Schwefelsäure ergeben hat[1]). Es würde sich vermutlich herausstellen, daß, je höher der Gehalt der Nadeln an Schwefelsäure ist, um so geringer der Gehalt des Bodens an Kalk.

[1]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. Berlin 1883.

Die empirisch ermittelte Entkalkung des Bodens schließt jeden Zweifel daran aus, daß er an der Zerstörung der Wälder mit beteiligt ist, vielmehr ist es sehr wahrscheinlich, daß er in vielen Fällen ausschließlich die Zerstörung hervorruft oder hervorrief. In größerer Nähe der Hütte wird auch die direkte Einwirkung des Rauches auf die Blattorgane in Betracht gekommen sein, ohne daß deshalb der Bodenfaktor ausschied. Mit wachsender Entfernung muß er immer mehr ins Gewicht fallen, bis er schließlich die Alleinherrschaft gewinnt. Es wird die Aufgabe weiterer Forschung sein, den Anteil beider Faktoren an der Zerstörung zu ermitteln. Ich habe, wie oben mitgeteilt wurde, auf keiner Versuchsfläche an den ausgesäten und ausgepflanzten Gewächsen, noch an den spontan aufgetretenen Unkräutern Anzeichen von Rauchbeschädigung beobachtet, und ebensowenig waren irgendwelche Schäden am Grase und dem Heidekraut, die die Abhänge bedecken, festzustellen. Ich bin deshalb der Ansicht, daß schon in der Entfernung von 500 m von der Frankenscharrnhütte die direkte Einwirkung des Hüttenrauchs auf die Pflanzen aufhört oder bis zur Bedeutungslosigkeit herabsinkt. Nun ist mir aber gesprächsweise entgegengehalten worden, daß sichtbare Schäden deshalb auf den Versuchsflächen nicht aufgetreten wären, weil die Säure gar nicht mehr dahin käme. Seitdem hinter der Hütte auf dem Hüttenberg der Kamin errichtet wäre, nähme der Rauch einen anderen Weg, was daraus hervorginge, daß die Schäden an den Beständen im Einersberg keine Fortschritte mehr machten. Dieser Ansicht kann ich mich nicht anschließen.

Auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf konnte ich bei der ersten Besichtigung die Säure deutlich riechen. Sie wird wohl auch häufiger dorthin gelangen und ließ sich auch in den Pflanzen, die dort gezogen wurden, nachweisen. Da es an vergleichendem Material fehlte, konnte die Aufnahme der Säure durch die Blätter nicht aus einer Anreicherung der Asche an Schwefelsäure festgestellt werden, wohl aber konnte die Gegenwart schwefliger Säure in den Blättern selbst nachgewiesen werden. Schon früher[1]) habe ich gezeigt, daß man aus mit schwefliger Säure beräucherten Pflanzenteilen durch Destillation schweflige Säure abscheiden kann, womit sich beweisen läßt, daß die Pflanzen von schwefliger Säure

[1]) Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen. Berlin 1905, 1. Kapitel.

betroffen werden. Im Jahre 1906 wurden von den auf den gekalkten Parzellen der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf gewachsenen Leguminosen, die äußerlich keine Rauchschäden erkennen ließen, Blätter gesammelt und der Destillation unterworfen. Es wurden folgende Mengen Schwefeldioxyd aus lufttrockner Substanz erhalten:

	Angew. Substanzmenge g	SO_2 g	SO_2 %
Pisum sativum	150	0,0119	0,0087
„ *arvense*	60	0,0015	0,0025
Vicia sativa	128	0,0012	0,0009
„ „	60	0,0007	0,0012

Von derselben Versuchsfläche wurde außerdem im August 1910 Material vom Heidekraut für eine Untersuchung entnommen. Es wurden 50 g Blätter und Blüten mit den jungen Achsenteilen dabei geprüft. Sie lieferten 0,0007 % SO_2.

Von den drei neuen Versuchsflächen im Einersberge wurde im Jahre 1910 je eine Probe gelbe Lupinen auf den Gehalt der Blätter an Schwefeldioxyd untersucht.

1. Versuchsfläche: 50 g Substanz gaben 0,002 % SO_2
2. „ : 50 „ „ „ 0,0015 „ „
3. „ : 41 „ „ „ 0,0021 „ „

Die Pflanzen waren auch hier dem gekalkten Boden entnommen.

Die Blätter der Leguminosen von allen darauf untersuchten Versuchsflächen sind verhältnismäßig reich an Schwefeldioxyd. Es tritt das besonders hervor, wenn man mit diesen Werten die Werte vergleicht, welche ich seinerzeit erhielt, als ich Nadeln von angeblich rauchbeschädigten Fichten aus der Oberförsterei Grund etwa aus derselben Entfernung untersuchte. Die Werte schwankten zwischen 0,0005 und 0,0011 %[1]). Aus meinen Bestimmungen geht also hervor, daß die schweflige Säure auch heute noch nach den Versuchsflächen gelangt und zwar augenscheinlich in nicht geringer Menge. Trotzdem kann aber die Menge gegen früher abgenommen haben, da uns jegliche Anhaltspunkte zur Beurteilung fehlen, wieviel Säure früher hierher gekommen ist. Auch aus dem Verhalten von *Phaseolus vulgaris* kann kein Schluß gezogen werden. Bekanntlich hat Sorauer[2]) zur Entscheidung der Frage, ob an einer

[1]) a. a. O. S. 10.

[2]) P. Sorauer und E. Ramann, Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. Bot. Zentralbl. LXXX 1899, S.-A. S. 35.

bestimmten Stelle Rauchschaden vorliegt, vorgeschlagen, gegen schweflige Säure empfindliche Pflanzen anzusäen. Besonders empfahl er *Phaseolus vulgaris* für diesen Zweck. Ich habe deshalb auf allen Versuchsflächen im Einersberge diese Pflanze ausgesät, habe aber niemals irgendwelche Beschädigungen an den Blättern beobachtet. Da die Säure nach den Versuchsflächen gelangt ist, wie die Bestimmungen der schwefligen Säure in den von ihnen entnommenen Leguminosen erkennen ließ, so sind die Schäden an den Bohnen nicht deshalb ausgeblieben, weil die Säure nicht zu ihnen gelangte, sondern weil den Bohnen jene vorausgesetzte hohe Empfindlichkeit gar nicht zukommt. Es dürften Schäden an den Bohnen nur auftreten bei Konzentrationen, die auch früher an diesen Stellen nicht geherrscht haben.

Um aber dem Einwande, daß die Säure nicht mehr in schädlicher Konzentration auf die Versuchsflächen im Einersberge gelangt, Rechnung zu tragen, habe ich noch einen Versuch an einer Stelle ausgeführt, die sicher nach Ansicht der Forstbeamten von der Säure in schädlicher Konzentration getroffen wird, das war der oben beschriebene Versuch mit Fichten im Claustaler Revier am Paulwasser. Bisher konnten aber auch an den Nadeln dieser Fichten keine Beschädigungen durch Hüttenrauch, wohl aber konnte ein Einfluß der Bodenbeschaffenheit auf sie festgestellt werden.

d) Über die Art des Wurzelwachstums im entkalkten Boden und ihre Ursache.

Aus dem bereits oben Mitgeteilten geht hervor, daß die Pflanzen auf dem ungekalkten Boden ein viel kleineres Wurzelsystem erzeugen als auf dem gekalkten, und daß dementsprechend auch die Gesamtentfaltung der Pflanzen unbedeutender ist. Auf ungekalktem Boden wachsen Haupt- und Nebenwurzel erheblich weniger in die Länge, wodurch bei manchen Pflanzen das Wurzelsystem ein klumpiges oder korallenartiges Aussehen annimmt. Auch ist die Zahl der Verzweigungen der Haupt- und der größeren Nebenwurzeln infolge ihres schwächeren Längenwachstums geringer, stehen aber dichter zusammen und verursachen dadurch im Verein mit dem verminderten Längenwachstum der Wurzeln das klumpige Aussehen. Die einzelnen Wurzeln sind bei manchen ungekalkten Pflanzen dicker als bei den gekalkten. Unter solchen Umständen nimmt das Wurzelsystem der ungekalkten Gewächse einen viel

kleineren Raum ein als das der gekalkten; es ist also auch mit seiner Wasseraufnahme auf ein viel geringeres Areal angewiesen; infolgedessen bleibt die Pflanze klein, denn dies Wurzelsystem ist außerstande, eine größere Pflanze zu ernähren. Mit der Kleinheit des Wurzelsystems und der Art ihrer Ausbildung hängt aber auch die schlechte Befestigung der Pflanze in der Erde zusammen. Deshalb ließen sich die auf dem ungekalkten Boden gewachsenen Exemplare von *Lupinus luteus* so leicht aus dem Boden herausnehmen. Dringt die Wurzel aber nicht ausreichend tief in die Erde ein, so ist die Gefahr des Vertrocknens für die Pflanze, wenn die obersten Zentimeter des Bodens austrocknen, oder die Gefahr des Ausfrierens, wenn sie gefrieren, sehr groß. Auf den ungekalkten Parzellen kommt daher eine große Zahl von Pflanzen auf, die aber schon im Laufe der Vegetationsperiode durch Austrocknen oder im Laufe des Winters durch Ausfrieren oder Erfrieren zugrunde gehen, so daß in der folgenden Vegetationsperiode nichts mehr von ihnen vorhanden ist. Zu diesen Pflanzen gehört auch die Fichte. Demnach dürfen wir wohl annehmen, daß in unserem Rauchschadengebiet, wo die Versuchsflächen liegen, auch Fichten durch Selbstaussaat gekommen sind, daß sie sich aber nur dort haben halten können, wo besonders günstige Umstände vorhanden waren. Derartige günstige Umstände müssen beispielsweise auf der ersten Versuchsfläche in der Oberförsterei Grund geherrscht haben, da sich hier ein kleiner Anflugshorst gebildet hat. Das Wachstum der Fichten ist freilich sehr kümmerlich, aber sie haben doch jährlich an Höhe und Breite zugenommen.

Im Nachstehenden sollen die Wurzelverhältnisse einiger der Versuchspflanzen etwas eingehender beschrieben werden.

Fichte: Die folgenden drei Abbildungen führen Fichten von der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf in natürlicher Größe vor, die im Frühjahr 1908 ausgesät und am 14. Oktober desselben Jahres herausgenommen wurden. In Abb. 29 sind Wurzeln von der ungekalkten, in den beiden anderen Abbildungen Wurzeln von der gekalkten Parzelle dargestellt. Bei den ungekalkten Exemplaren ist die Hauptwurzel viel kürzer als bei den gekalkten Exemplaren; bei einigen Exemplaren ist sie gar nicht verzweigt, bei anderen sind die allerersten Anfänge einer Verzweigung vorhanden. Die Verzweigungen sind in allen Fällen klein geblieben, teilweise kaum über die Anlagen herausgekommen. Infolge des geringen Längen-

wachstums der Hauptwurzel sind die Verzweigungen dicht gedrängt an der Wurzelspitze. Nur ein Exemplar hat etwas längere Nebenwurzeln, die auch etwas weiter auseinander stehen. Gegenüber diesen Wurzeln sind die Wurzeln der gekalkten Exemplare groß und reich verzweigt (Abb. 28, 30). Die Hauptwurzel ist um das Mehrfache länger als die der ungekalkten Exemplare, so ungleich auch sonst die Ausbildung der einzelnen Exemplare untereinander ist. Die Verzweigung erster Ordnung ist sehr ungleich, bei allen ziemlich reichlich, bei mehreren sehr reichlich. Die Länge der Nebenwurzeln ist gleichfalls sehr ungleich, aber immer sehr viel

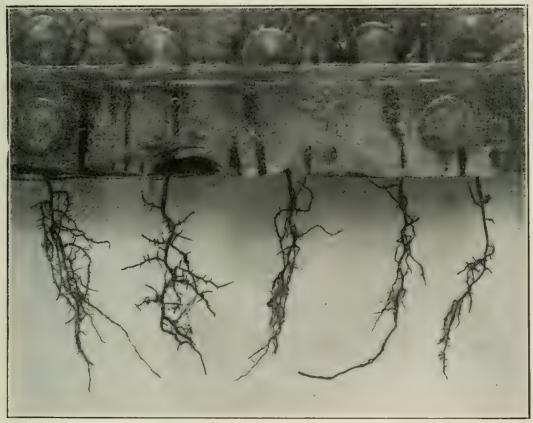


Abb. 28.

Fichte von der gekalkten Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Ausgesät im Frühjahr 1908, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Gr. Wurzeln in Wasser befindlich, photographiert.

größer als bei den ungekalkten Exemplaren; bei Exemplaren mit verhältnismäßig kurzer Hauptwurzel sind auch ihre Nebenwurzeln verhältnismäßig kurz. Bei anderen Wurzeln sind die Nebenwurzeln unverhältnismäßig lang. Die Nebenwurzeln erster Ordnung haben überall mehr oder weniger lange, mehr oder weniger zahlreiche Nebenwurzeln zweiter Ordnung gebildet.

Dieselben Verhältnisse in der Wurzelentwicklung der ungekalkten und gekalkten Exemplare kehren bei Fichten aus dem

auf S. 70 erwähnten Kampe im Einersberge wieder. Die vierte Reihe der Abbildung 26 führt einjährige Fichten von den ungekalkten Beeten vor; die gleiche kümmerliche Entwicklung der Haupt- und Nebenwurzeln wie bei der Abbildung 29. Die Exemplare in den beiden ersten Reihen der Abbildung 26 stammen auch von ungekalktem Boden, aber hier ist das Wurzelsystem etwas besser entwickelt. Es handelt sich um in der Oberförsterei gewachsene Saat, während die Pflänzchen aus der vierten Reihe von auswärtiger Saat abstammen. Daß aber auch diese Pflanzen ein kümmerliches Wurzelsystem haben, geht aus dem Vergleich mit

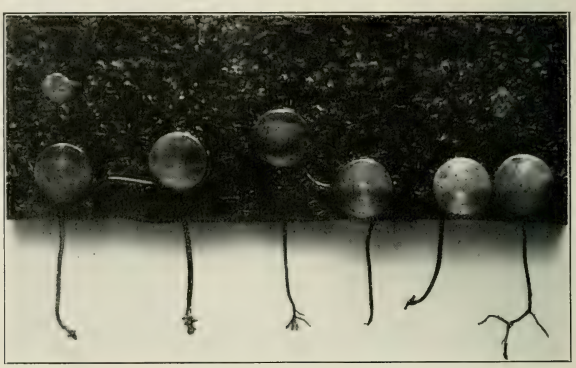


Abb. 29.
Fichte von der ungekalkten Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Ausgesät im Frühjahr 1908, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Gr. Wurzeln in Luft hängend, photographiert.

den gekalkten Pflanzen aus den beiden letzten Reihen hervor. Auf dem gekalkten Boden war ein Unterschied in der Entwicklung der Wurzeln bei den Pflanzen aus der Saat verschiedener Herkunft nicht zu beobachten. Die Hauptwurzel ist durchschnittlich länger und viel verzweigter als bei den ungekalkten Exemplaren, die Nebenwurzeln auch erheblich länger.

Im folgenden Jahre waren auf den ungekalkten Beeten nur Exemplare von der einheimischen Saat vorhanden. Der Unterschied in der Entwicklung zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren tritt im zweiten Jahre noch deutlicher hervor, wie die Abbildung 27 auf S. 72 erkennen läßt.

Die kümmerliche Entwicklung des Wurzelsystems erscheint auch wieder auf der Versuchsfläche im Fichtenstangenholz im Distrikt 7 des Einersberges, wie die ersten beiden Reihen der Abbildung 24, S. 68, und der zweijährigen Gewächse von demselben Standorte auf der Abbildung 25, S. 69 erkennen lassen. Der Unterschied in der Entwicklung des Wurzelsystems zwischen ungekalkten und gekalkten Exemplaren tritt in den beiden Abbildungen deutlich hervor. Es dürfte auf den Schatten und die größere Feuchtigkeit der Luft zurückzuführen sein, daß bei diesen Fichten

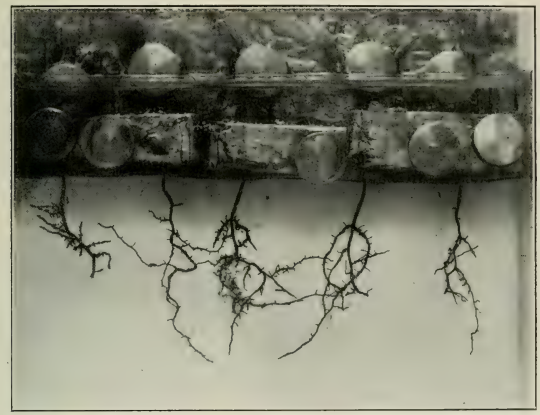


Abb. 30.

Fichte von der gekalkten Parzelle auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Ausgesät im Frühjahr 1908, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Gr. Wurzeln im Wasser befindlich, photographiert.

die Nadeln verhältnismäßig größer geworden sind als bei den Pflanzen auf den freiliegenden Versuchsflächen.

Die sehr viel kümmerlichere Entwicklung des Wurzelsystems auf den ungekalkten Parzellen läßt sich auch auf den neuen Versuchsflächen im Einersberge (Abbildung 10, S. 33) erkennen. In der Reihe 2 sind ungekalkte Fichten von der Versuchsfläche 2, in der Reihe 4 ungekalkte Fichten von der Versuchsfläche 3 abgebildet. Die drei anderen Reihen führen Fichten von den gekalkten Parzellen der drei Versuchsflächen vor.

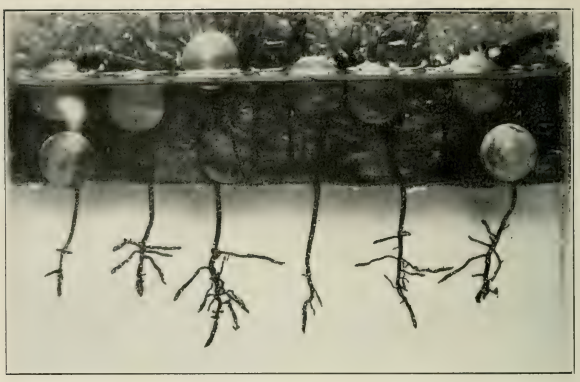


Abb. 31.
Kiefer. Ungekalkte Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Ausgesät im Frühjahr 1908, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Gr. Wurzeln im Wasser hängend, photographiert.

Abb. 32.
Kiefer. Gekalkte Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Ausgesät im Frühjahr 1908, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Gr. Wurzeln im Wasser hängend, photographiert.

Kiefer: Auf den beiden vorstehenden Abbildungen sind Wurzeln einjähriger Kiefern, die im Frühjahr 1908 ausgesät und am 14. Oktober desselben Jahres herausgenommen wurden, in natürlicher Größe abgebildet. Abbildung 31 stellt ungekalkte, Abbildung 32 gekalkte Exemplare dar. Die Hauptwurzel der ungekalkten Exemplare ist kurz, die Zahl der Nebenwurzeln erster Ordnung an einzelnen Exemplaren sehr gering, an anderen reichlicher; ihr Längenwachstum scheint etwas weniger vermindert zu sein als das der Hauptwurzel. Die Nebenwurzeln zweiter Ordnung fehlen oder sind sehr klein geblieben. An den gekalkten Exemplaren sind die Hauptwurzeln etwa doppelt so lang als bei den ungekalkten, die Verzweigungen erster Ordnung sind sehr reichlich und sind ihrerseits wieder reichlich verzweigt. Die Nebenwurzeln erster Ordnung sind bei diesen Exemplaren nicht so lang wie bei den auf S. 31 abgebildeten Exemplaren von derselben Versuchsfläche. Die beiden ersten Reihen auf jener Abbildung geben ungekalkte, die beiden folgenden gekalkte Exemplare wieder.

Der große Unterschied in der Entwicklung der Wurzelsysteme auf gekalktem und ungekalktem Boden tritt auch bei zweijährigen Exemplaren deutlich in die Erscheinung, wie aus der Abbildung 13 auf S. 38 zu ersehen ist. Die Reihen 1, 3 und 5 führen ungekalkte Kiefern der drei neuen Versuchsflächen aus dem Einersberge vor, die Reihen 2, 4 und 6 die gekalkten Exemplare der entsprechenden Parzellen. Mit der Besserung des Bodens bessert sich auch das Wurzelsystem der ungekalkten Kiefern, doch ist ihnen das der gekalkten in allen Fällen überlegen.

Krummholzkiefer: Wie die beiden folgenden Abbildungen erkennen lassen, ist das Längenwachstum der Hauptwurzel stark gehemmt, das der Nebenwurzel erheblich weniger, so daß die charakteristische Wuchsform unserer Abbildung herauskommt. Die Verzweigungen zweiter Ordnung sind sehr klein und wenig zahlreich. Die Wurzeln machen den Eindruck, als wenn sie dicker wären als die Wurzeln der ungekalkten Exemplare. Der Habitus der Wurzeln der gekalkten Exemplare ist ganz anders. Das Längenwachstum der Hauptwurzel ist viel bedeutender als bei den ungekalkten Exemplaren. Die Verzweigungen erster Ordnung sind zum Teil sehr lang wie bei dem mittleren Exemplar der Abbildung 34, wo sie zufällig der Hauptwurzel anliegen. Bei anderen Exemplaren, sind sie wieder auffällig kurz, zum Teil kürzer als bei den ungekalkten Exemplaren, aber sie sind in diesem Falle in sehr großer

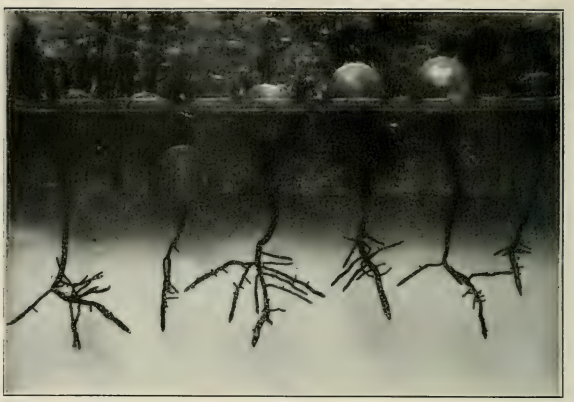


Abb. 33.
Krummholzkiefer. Ungekalkte Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Ausgesät im Frühjahr, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Gr. Wurzeln im Wasser hängend, photographiert.

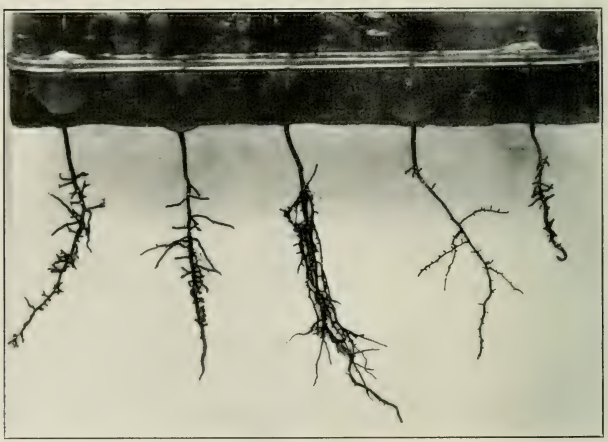


Abb. 34.
Krummholzkiefer. Gekalkte Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Ausgesät im Frühjahr, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Gr. Wurzeln im Wasser hängend, photographiert.

Zahl vorhanden. Die kürzeren Nebenwurzeln erster Ordnung haben noch keine, die längeren Nebenwurzeln haben schon reichlich Nebenwurzeln zweiter Ordnung gebildet.

Die Entwicklung der ungekalkten Exemplare auf dieser Versuchsfläche ist zwar sehr kümmerlich, aber immerhin besser als bei der Kiefer und besser als bei der Fichte. Noch besser ist die Krummholzkiefer auf den drei neuen Versuchsflächen im Einersberge gekommen, wie die Abbildung zweijähriger Pflanzen erkennen läßt (Abb. 14, S. 39). Im zweiten Jahre waren auf den ungekalkten Parzellen jeder Versuchsfläche noch Exemplare vorhanden, die um so besser wurden, je entfernter die Versuchsfläche von der Rauchquelle lag. Die Verzweigung der Hauptwurzel ist bei den meisten Exemplaren (Reihe 1, 3, 5) viel bedeutender als auf der Abbildung 33. In allen Fällen hat sich das Wurzelsystem auf den gekalkten Parzellen sehr viel üppiger entwickelt, und dementsprechend ist die ganze Pflanze erheblich kräftiger und größer.

Phaseolus vulgaris: Unsere Abbildung 6 auf S. 27 führt Exemplare vor, die im Jahre 1908 auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf auf gekalktem Boden und aus geimpfter Saat gezogen worden waren. Die Exemplare hatten sich so umeinander geschlungen, daß es nicht möglich war, sie voneinander zu trennen. Die Länge der Exemplare betrug ungefähr 70—80 cm. Sie hatten geblüht und Früchte getragen. Ihr Wurzelsystem war groß und reichlich verzweigt wie bei unter normalen Umständen erzogenen Bohnen. Dahingegen war das Wurzelsystem der geimpften wie der ungeimpften Pflanzen auf ungekalktem Boden, wie die beiden Abbildungen 35 und 36 zeigen, sehr klein geblieben. Die Wurzelsysteme sind in natürlicher Größe wiedergegeben. Die sehr kurze Hauptwurzel ist ziemlich reichlich verzweigt, aber die Nebenwurzeln erster Ordnung sind nicht normal in die Länge gewachsen. Infolgedessen erscheint das ganze Wurzelsystem wie ein kleines Knäuel, von dem einzelne längere Fäden ausgehen. Derartige Wurzeln sind natürlich ganz ungeeignet, für größere und kräftigere Pflanzen das erforderliche Wasser zu schaffen. Das abnorme Wachstum dieser Wurzeln tritt erst besonders deutlich hervor, wenn man damit das Wurzelsystem der gekalkten Wurzeln vergleicht (Abb. 37). Es treten hier viele und lange Nebenwurzeln auf, die den üblichen Wurzelfilz, wie er an solchen Pflanzen unter normalen Verhältnissen vorhanden zu sein pflegt, erzeugen. Da die Vergrößerung 4 : 5 beträgt, haben die Wurzeln hier ein an-

Abb. 35.

Phaseolus vulgaris. Ungekalkte Parzelle auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Geimpft. Ausgesät Frühjahr, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Größe. In Wasser hängend, photographiert.

Abb. 36.

Phaseolus vulgaris. Gekalkte Parzelle auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf (Oberförsterei Zellerfeld). Ungeimpft. Ausgesät Frühjahr, herausgenommen am 14. X. 1908. Nat. Größe. In Wasser hängend, photographiert.

sehnliches Wachstum erfahren. In der Ausbildung der Wurzelsysteme ist ein Unterschied zwischen den ungeimpften und geimpften Exemplaren nicht vorhanden.

Lupinus luteus: Das Wurzelsystem der ungekalkten Lupinen zeigt denselben Charakter wie das der ungekalkten Bohnen. Die Hauptwurzel ist kurz, die Nebenwurzeln sind gleichfalls kurz und schmiegen sich dicht an die Hauptwurzel an, sodaß eine walzenartige Gestalt des ganzen Wurzelsystems resultiert, wie auf S. 23 aus der Abbildung 4 an mehreren Exemplaren zu erkennen ist. Hier und da sieht man einzelne Wurzelfasern von dem Klumpen

Abb. 37.

Phaseolus vulgaris. Gekalkte Parzelle auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Ungeimpft. Ausgesät im Frühjahr, herausgenommen am 14. X. 1908. Vergr. 1 : 2.

auslaufen. Auf dem gekalkten Boden hat das Wurzelsystem normale Beschaffenheit, es ist verzweigt, die Nebenwurzeln strahlen von der Hauptwurzel aus und bilden das übliche verzweigte Wurzelsystem. Zur Beurteilung der Abbildungen sind noch einige Angaben über die Größenverhältnisse der Pflanzen erforderlich. Die ungekalkten Pflanzen waren sehr klein, die gekalkten auch nicht besonders groß. Die Länge der Stengel schwankte bei den letzteren zwischen 25 und 30 cm; sie hatten geblüht und Früchte getragen. Die Stengel der ungekalkten Exemplare waren ungefähr halb so

hoch. Die Länge ihres walzigen Wurzelsystems betrug 2—6 cm. Pflanzen mit solchen Wurzeln können nur locker im Boden sitzen.

Vicia sativa: Die Bedingungen für das Wachstum von *Vicia sativa* waren unverkennbar auch auf der gekalkten Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf ungünstig, da die Pflanzen nur kurz blieben. Der Stengel hatte höchstens eine Höhe von 15 cm. Das Wurzelsystem war normal, in seinen Größenverhältnissen denen der oberirdischen Teile entsprechend. Es waren lange Hauptwurzeln mit großen Nebenwurzeln vorhanden. Auf der ungekalkten Parzelle waren ganz kümmerliche Exemplare mit einem ganz kurzen, dicht zusammengedrängten Wurzelsystem gekommen. Dies Wurzelsystem glich einem runden Knäuel, von dem sich einzelne Wurzelfasern nach außen ablösten oder später wieder ein lockeres Flechtwerk bildeten. Der Durchmesser dieser Wurzelsysteme betrug $^1/_2$ bis $1^1/_2$ cm. (Vergl. die Abbildung 8 auf S. 29.)

Vicia villosa: Auch diese Art hatte auf der gekalkten Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf nur kleine Pflanzen gebildet, deren Stengel 10—14 cm hoch waren. Aber sie hatten ein normales, kräftiges, großes und verzweigtes Wurzelsystem. Die Exemplare auf der ungekalkten Parzelle hingegen waren sehr kümmerlich, und dementsprechend war auch das Wurzelsystem ein wenig ausgebreitetes Flechtwerk von Wurzeln, dessen Durchmesser kaum größer war als der der Samen, der noch an den Pflänzchen saß. Abb. 7 S. 28 führt die Wurzeln in natürlicher Größe vor. Hier und da zeigen einige Wurzelfasern ein etwas stärkeres Wachstum und ragen aus dem Knäuel hervor.

Spartium scoparium: Auf der Abbildung 22 S. 53 sind in der 1., 2., 4. und 6. Reihe ungekalkte Exemplare von den drei neuen Versuchsflächen im Einersberge und von der ersten Versuchsfläche in der Oberförsterei Grund abgebildet. Diese ungekalkten Pflanzen sind je nach dem Standort verschieden gut entwickelt, immer aber sind sie klein, verglichen mit den Exemplaren von den dazugehörigen gekalkten Parzellen. Das Wurzelsystem der ungekalkten Exemplare verhält sich anders als bei den früher besprochenen Leguminosen. Das Längenwachstum der Hauptwurzel ist stark herabgesetzt, infolgedessen sind die Wurzeln nur kurz. Das Längenwachstum der Nebenwurzeln ist gleichfalls verlangsamt, die Verzweigung weniger reichlich, sodaß das Wurzelsystem kein klumpiges Aussehen annimmt, sondern mehr den Charakter der

Wurzel des Besenstrauchs behält, nur von erheblich geringeren Abmessungen ist.

Robinia Pseudacacia: Die Reihen 1, 3, 5 auf der Abbildung 21 geben Exemplare von den drei neuen Versuchsflächen auf dem Einersberge wieder. Je nach dem Kalkgehalt der drei Flächen ist die Entwicklung der Pflanzen verschieden groß und dementsprechend auch das Wurzelsystem ungleich gut ausgebildet. Am besten stehen die Pflanzen auf der dritten, am schlechtesten auf der ersten Versuchsfläche. Hier haben die Pflanzen eine ganz kurze, gar nicht oder ganz schwach verzweigte Hauptwurzel, die in ihrem Aussehen etwa an die Wurzeln der ungekalkten Fichten von der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf erinnert (Abb. 29, S. 84). Die Exemplare von den beiden anderen Versuchsflächen haben eine kurze Hauptwurzel, die aber etwas reichlicher verzweigt ist als die der Exemplare von der ersten ungekalkten Parzelle. Aber selbst diese Wurzelsysteme sind sehr klein, verglichen mit den Wurzelsystemen der gekalkten Exemplare. Das Wurzelsystem der ungekalkten Exemplare ist im wesentlichen das gleiche wie das der gekalkten, nur erheblich kleiner.

Birke: Das vorhandene Material ist nicht umfangreich genug, um eine klare Vorstellung von einer etwaigen Veränderung des Wurzelwachstums unter der Einwirkung des Kalkmangels zu erhalten. Das eine ungekalkte Exemplar von der ersten Versuchsfläche im Einersberge, das auf S. 47 (Abb. 18) in der ersten Reihe oben links abgebildet ist, zeigt eine kurze, mit Nebenwurzeln von ziemlicher Länge versehene Hauptwurzel, sodaß das Wurzelsystem den Charakter einer kurzbüscheligen Wurzel trägt. Bei dem kleinsten unter den gekalkten Exemplaren in Reihe 1 unserer Abbildung kehrt derselbe Charakter wieder, nur daß die Länge der Wurzeln etwas bedeutender ist. Bei den anderen Exemplaren ist die Hauptwurzel erheblich länger. Bei der Birke scheinen also im wesentlichen nur Dimensionsänderungen der Wurzeln mit Verminderung des Kalkgehaltes im Boden einzutreten.

Erle, *Alnus glutinosa:* Ungekalkte Exemplare sind auf der Abbildung 18 auf S. 47 in Reihe 2 und 4 abgebildet, gekalkte Exemplare in den Reihen 3 und 5. Diese gekalkten Exemplare haben ein kräftiges, reich verzweigtes Wurzelsystem. Die ungekalkten Exemplare haben im ungünstigsten Fall eine kurze, gar nicht oder unbedeutend verzweigte Hauptwurzel. Bei kräftigerer Entwicklung sind einige Verzweigungen mehr vorhanden. Diese

Nebenwurzeln sind zum Teil von großer Länge; ja es kann ihr Wachstum sogar beträchtlicher werden als das der Hauptwurzel und damit nähern sich diese Pflanzen in ihrer Wuchsform den gekalkten Exemplaren. Beschränktes Längenwachstum der Wurzel ist das Charakteristische des Wurzelwachstums der ungekalkten Erlenexemplare.

Spitzahorn, *Acer platanoides:* Auf den ungekalkten Flächen wurden nur wenige Exemplare gefunden, die auf S. 48 (Abb. 19) in der ersten Reihe abgebildet sind. In den folgenden drei Reihen stehen Exemplare von den gekalkten Parzellen der drei neuen Versuchsflächen im Einersberge. Von den vier abgebildeten ungekalkten Exemplaren hat ein einziges eine größere Wurzel, bei den anderen Exemplaren ist das Wurzelsystem kümmerlich. Die Hauptwurzel ist kurz und trägt nur kurze Nebenwurzeln. Unter etwas günstigeren Wachstumsbedingungen wie bei den gekalkten Exemplaren von der ersten Versuchsfläche (Reihe 2) und dem mittleren Exemplar der ungekalkten Exemplare der zweiten Versuchsfläche (Reihe 1 links) wird die Hauptwurzel etwas länger, die Nebenwurzeln gleichfalls länger und zahlreicher; trotzdem bleibt das Längenwachstum der Hauptwurzel unbedeutend. Übrigens läßt sich auch an den gekalkten Exemplaren erkennen, daß die Hauptwurzel in ihrer Länge außerordentlich schwanken kann. Bald haben wir eine mehr gestreckte Hauptwurzel, bald ist die Wurzel mehr büschelig. Ist der Kalkgehalt etwas größer wie auf der zweiten und dritten Versuchsfläche, so ist das Wurzelsystem in seiner Gesamtentfaltung bedeutender und durchzieht ein größeres Bodenareal.

Bergahorn, *Acer Pseudoplatanus*: Ungekalkte Exemplare der drei neuen Versuchsflächen im Einersberge sind auf S. 50 (Abb. 20) in den Reihen 1, 3, 5, gekalkte Exemplare in den Reihen 2, 4, 6 abgebildet. Die Wurzelverhältnisse sind ähnlich denen des Spitzahorns. Bei den kümmerlichsten Exemplaren wie bei allen von der ersten Versuchsfläche und mehrerer von den beiden anderen ist eine ganz kurze Hauptwurzel vorhanden mit gar keinen oder sehr kleinen Nebenwurzeln. Bei besser entwickelten Exemplaren wird die Hauptwurzel länger und trägt eine größere Zahl von Nebenwurzeln von geringer Länge, oder die Hauptwurzel bleibt ganz kurz und es tritt an ihre Stelle ein Büschel von etwas längeren Nebenwurzeln. Die gekalkten Exemplare haben meistens eine lange, reich verzweigte Hauptwurzel mit großen Nebenwurzeln. Bei schwächer entwickelten Exemplaren findet eine

Reduktion des Wurzelsystems in der Richtung auf die Ausbildung der ungekalkten Exemplare statt.

Rotbuche, *Fagus sylvatica:* Auf S. 42 sind in der Abbildung 15 links die ungekalkten und in der Abbildung 17 die gekalkten zweijährigen Exemplare von den drei Versuchsflächen im Einersberge abgebildet. Auf der ersten Versuchsfläche standen die ungekalkten Exemplare am schlechtesten. Noch auffälliger war der Unterschied in der Entwicklung des Wurzelsystems zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren der ersten Versuchsfläche im ersten Jahr. Die Hauptwurzel war ganz kurz, ähnlich wie es bereits für verschiedene andere Pflanzen geschildert wurde. An ihr entwickelte sich ein Büschel von klein bleibenden Nebenwurzeln, oder es traten mehr vereinzelte Nebenwurzeln auf, während die gekalkten Exemplare ein großes stark verzweigtes Wurzelsystem besaßen. Von den ungekalkten Exemplaren ist im Winter ein Teil zugrunde gegangen und es haben sich natürlich nur die gehalten, welche schon ein etwas kräftigeres Wurzelsystem hatten, und aus den geschilderten Anfängen hat sich dann ein kleines büscheliges Wurzelsystem entwickelt, wie es an den ungekalkten Exemplaren der ersten Versuchsfläche auf S. 42 Abb. 15 zu sehen ist. Die Neigung zur Bildung eines büscheligen Wurzelsystems kehrt auch bei den gekalkten Exemplaren der ersten Versuchsfläche wieder. Bei den anderen Versuchsflächen ist die Neigung zur Bildung einer längeren Hauptwurzel sowohl bei den ungekalkten wie den gekalkten Exemplaren zu bemerken.

Eiche: Die Eiche hat auf allen ungekalkten Flächen eine lange Hauptwurzel gebildet, die sich in der bekannten typischen Weise der Eichenwurzel verzweigt hat. Ein Vergleich der ungekalkten und gekalkten zweijährigen Exemplare von den drei Versuchsflächen im Einersberge läßt nur Unterschiede in den Dimensionen der Wurzelsysteme erkennen (Abb. 15, 16); die Art der Bildung ist überall die gleiche. Der Unterschied in der Entwicklung des Wurzelsystems zwischen gekalkten und ungekalkten Exemplaren von der ersten Versuchsfläche tritt etwas deutlicher im ersten Jahre hervor und spricht sich darin aus, daß die Hauptwurzel der ungekalkten Exemplare, wenn sie an sich auch lang, doch etwas kürzer als die der gekalkten Exemplare, und daß die Verzweigung weniger reichlich ist. Es kommen also nur quantitative Unterschiede vor.

Durch die starke Entkalkung des Bodens wird das Längenwachstum der Wurzeln, bei den verschiedenen Arten in ungleichem Maße, ungünstig beeinflußt. Nimmt der Kalkgehalt des Bodens etwas zu, so wächst auch das Wurzelsystem etwas kräftiger, wie der Vergleich der Exemplare einer und derselben Pflanzenart von den drei neuen Versuchsflächen im Einersberge erkennen läßt. Zu der Ausbildung des Wurzelsystems steht die Ausbildung der oberirdischen Teile der Pflanzen in engster Korrelation. Deshalb entstehen auf dem stark entkalkten Boden nur kümmerliche Pflanzen, die, der Einwirkung der klimatischen Faktoren auf die Dauer nicht gewachsen, bald zugrunde gehen. Auf Zusatz von Kalk zum Boden bessert sich das Wachstum der Wurzeln und damit die Gesamtentfaltung der Pflanze. Ist der richtige Kalkgehalt getroffen worden, kann man ganz normale Pflanzen erziehen. Wenn auf unseren Versuchsflächen einige Pflanzenarten auf den gekalkten Parzellen noch nicht normal gekommen sind, so dürfte für sie der Kalkzusatz zum Boden nicht genügend hoch gewählt worden sein.

Worauf beruht die günstige Wirkung des Kalkzusatzes zum Boden auf das Wachstum der Pflanzen; war sein Gehalt an Kalk zu gering, um die Pflanzen ernähren zu können, oder bewirkte seine Gegenwart nur die Beseitigung schädlicher Einflüsse? Alle die hier in Betracht kommenden Böden sind stark humussauer; man könnte deshalb vermuten, daß die günstige Wirkung des Kalkens auf der Neutralisation etwaiger schädlicher freier Humussäuren beruhte. Es erhebt sich hier also die Frage, wirkt der Kalk indirekt durch Neutralisierung der freien Humussäuren oder direkt gleichsam wie ein Reizstoff auf das Wachstum der Wurzeln ein.

1. Wirkt der Kalk als Neutralisationsmittel der freien Humussäuren?

Die Beantwortung dieser Frage hat eine weit über den vorliegenden Fall hinausgehende Bedeutung. Es handelt sich um die Entscheidung der Frage, ob der günstige Erfolg eines Kalkzusatzes zu sauren Böden überhaupt auf einer Neutralisation der freien Humussäuren beruht.

Das Verhalten der Pflanzen auf unseren Versuchsflächen spricht nicht zugunsten einer solchen Auffassung, denn die Azidität des Bodens, z. B. von der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf

war durch den Kalkzusatz nur um $^1/_3$ vermindert worden, und doch wurden von mehreren Pflanzenarten ganz normale Gewächse produziert. Es ist ja auch bekannt, daß viele Waldböden stark humussauer sind, und trotzdem wachsen die Bäume auf ihnen sehr gut. Dem könnte vielleicht entgegengehalten werden, daß dies Maß der Abstumpfung der Säure schon ausreiche, um ein normales Wachstum zu gestatten.

Wirkt der Kalk nur als Neutralisationsmittel, so muß er auch durch andere Basen ersetzt werden können. Ich habe einige einschlägige Versuche ausgeführt, teils mit Boden von den Versuchsflächen aus dem Claustaler Rauchschadengebiet, teils mit Heideerde und Moorboden.

aa) Versuche mit saurem Boden von den Versuchsflächen im Harz.

Diese Versuche wurden im Jahre 1910 ausgeführt, und zwar mit Zusatz von kohlensaurem Baryum, kohlensaurem Magnesium und kohlensaurem Natrium.

1. Boden aus der obersten Schicht, 0—15 cm, von der neuen Versuchsfläche 1 im Einersberge, entnommen am 10. April 1910. Jeder Topf enthielt 600 g Boden; ein Topf blieb ohne Zusatz, der andere erhielt einen Zusatz von 14 g kohlensaurem Baryum.
2. Boden aus der obersten Schicht, 0—15 cm, von der neuen Versuchsfläche 3 im Einersberge, entnommen am 20. April 1910. Jeder Topf enthielt 600 g Boden; ein Topf blieb ohne Zusatz, der andere erhielt einen Zusatz von 6 g kohlensaurem Magnesium.
3. Boden von der dritten neuen Versuchsfläche im Einersberge, etwa aus den obersten 20 cm, entnommen im August 1909. Jeder Topf enthielt 600 g Boden, der eine Topf erhielt einen Zusatz von 7 g kohlensaurem Natrium, der andere 5 g kalkfreie Nährsalze, wie sie zu Wasserkulturen benutzt werden,

Alle Töpfe wurden am 24. Juni 1910 mit Fichten besät. Wenn auch am 21. Juli in allen Töpfen die Fichten gekommen waren, so schien es doch nach dem Aussehen der Aussaaten ratsam zu sein, noch etwas nachzusäen. Die Töpfe standen im Garten unter Drahtgeflecht zum Schutze gegen die Vögel und wurden regelmäßig begossen. Den folgenden Winter brachten sie in einem kleinen

Räucherhäuschen im Garten zu. Im März 1911 wurden die Pflanzen auf die Entwicklung ihres Wurzelsystems untersucht. In allen Töpfen waren die Pflanzen lebendig und ihre Wurzeln trieben aus, wie an den weißen Wurzelspitzen zu erkennen war. Im sauren

Abb. 38.

Fichte, einjährig. Boden von der neuen Versuchsfläche 1 aus dem Einersberge. Topfkultur. Reihe 1 und 3 ohne Zusatz; Reihe 3 und 4 mit Zusatz von $BaCO_3$. Die langen Wurzeln in diesen Reihen sind am Topfrand gewachsen. Ausgesät Frühjahr 1910, herausgenommen am 3. April 1911. Vergr. ca. 2 : 5.

Boden ohne Zusatz ist das Wurzelwachstum beschaffen, wie aus den Reihen 1 und 2 auf der vorstehenden Abbildung hervorgeht. Freilich ist das Wachstum in diesem Topf, und das gleiche

trifft für die anderen Töpfe zu, welche nur den sauren Boden enthielten, etwas besser als das Wachstum der Fichten auf den Versuchsflächen selbst. Die Ursache hiervon erblicke ich in dem Umstand, daß die Töpfe regelmäßig begossen wurden, während die Pflanzen im Freien sich unter viel ungünstigeren Feuchtigkeitsverhältnissen entwickeln mußten. Sehr förderlich wirkt es auf das Wachstum der Wurzel, wenn sie sich zwischen dem Topf und der Erde entwickeln kann. Sie wird dann erheblich länger als die übrigen Wurzeln. Darauf dürfte die erhebliche Länge zweier Wurzeln in der dritten Reihe der Abbildung 39 auf S. 100 zurückzuführen sein.

Gegen die Zusätze haben sich die Fichtenwurzeln sehr ungleich verhalten. Der Zusatz von kohlensaurem Baryum ist unverkennbar schädlich gewesen (Reihe 3 und 4 auf Abbildung 38). Die Wurzeln sind sehr kümmerlich und erheblich kleiner als die aus dem Boden ohne Zusatz. Die vereinzelten längeren Wurzeln beweisen nichts, da sie vermutlich in der Topfrandnähe gewachsen sind. Schädlich, wenn auch nicht ganz so schlimm wie die Baryumverbindung, hat auch das kohlensaure Natrium gewirkt (Reihe 1 und 2 in der Abbildung 39). Dahingegen hat das kohlensaure Magnesium das Wurzelwachstum außerordentlich begünstigt (Reihe 4 in der Abbildung 39). Die längsten Wurzeln sind 17 cm lang geworden, während im Boden ohne Zusatz die Länge durchschnittlich 4 cm beträgt. Das kohlensaure Magnesium hat also ähnlich wie der kohlensaure Kalk gewirkt. Man müßte daraus den Schluß ziehen, daß es sich beim Kalk wie bei der Magnesia um eine Neutralisation der freien Humussäuren handelte. Und wenn bei dem Zusatz von Baryumkarbonat und Natriumkarbonat nicht derselbe Erfolg erzielt wurde, so wäre das auf die an sich schädliche Wirkung dieser Substanzen, die ja nach den Versuchsergebnissen unverkennbar ist, zurückzuführen. Da das Natriumkarbonat in Wasser löslich ist, könnte man annehmen, daß seine schädliche Wirkung auf eine osmotische Wirkung und nicht auf eine spezifische Wirkung des Natriums zurückzuführen ist. Aber diese Erklärung ist für die Wirkung des Baryumkarbonats nicht ausreichend; unter den gegebenen Umständen scheint es giftig zu wirken, kann also nicht benutzt werden, um die Frage nach dem neutralisierenden Einfluß des Kalks zu entscheiden.

Daß die schädliche Wirkung des Baryumkarbonats tatsächlich von den gegebenen Umständen abhängt, geht aus einer anderen

Abb. 39.

Fichte, einjährig. Boden von der neuen Versuchsfläche 3 aus dem Einersberge. Topfkultur. Ausgesät Frühjahr 1910, herausgenommen am 3. April 1911. Vergr. ca. 2:5.

Reihe 1 und 2: mit Zusatz von Na_2CO_3

„ 3 ohne „

„ 4 mit „ „ $MgCO_3$

von mir gemachten Beobachtung hervor. Um zu sehen, ob bis zu einem bestimmten Grade der Kalk durch Baryum ersetzt werden könnte, habe ich einen kalkarmen Sand mit kohlensaurem Baryum versetzt und Fichten hineingesät. Der Versuch wurde folgendermaßen angestellt. Es wurden drei Töpfe mit je 1 Kilo Sand hergerichtet; von diesen wurde der eine mit 35,5 g Baryumkarbonat, der zweite mit 18 g kohlensaurem Kalk versetzt, während der dritte ohne Zusatz blieb. Sie wurden mit Fichten besät, im Garten aufgestellt und regelmäßig begossen. Im nächsten Frühjahr, im März 1911 wurden die Wurzelsysteme untersucht. Im Sand hatte die Fichte ein kümmerliches Wurzelsystem mit einer Hauptwurzel von 9—28 mm Länge gebildet. Im Sand mit Kalkzusatz waren große und reichlich verzweigte Wurzelsysteme entstanden. Die Hauptwurzel war 25—56 mm lang geworden. Ganz im Gegensatz zu den Wurzeln aus dem Topf mit der sauren Erde aus dem Harz hatten die Fichten im Sand mit Zusatz von Baryumkarbonat große Wurzeln gebildet, die an Länge nicht viel hinter denen der gekalkten Pflanzen zurückstanden. Die Länge der Hauptwurzeln schwankte zwischen 25 und 39 mm. Leider waren keine Versuche mit Magnesiumkarbonat angestellt worden, um zu entscheiden, ob dies im Sand auf die Fichten anders einwirkte als im sauren Boden. Es wurden deshalb im Jahre 1911 diese Versuche wiederholt und und erweitert.

Wiederum wurden Töpfe mit 1 Kilo Sand benutzt, in die Fichten und Kiefern ausgesät wurden. Die Töpfe standen im Garten unter Drahtgeflecht zum Schutz gegen die Vögel und wurden regelmäßig begossen. Zum Begießen wurde das sehr kalkreiche Aachener Leitungswasser benutzt, und da das Begießen in dem trocknen Jahre reichlicher als sonst geschah, so erklärt sich vielleicht aus dieser Kalkzufuhr, daß die Fichten in diesem Jahre durchgehends stärker gewachsen sind als im verhergehenden. Die Töpfe erhielten folgende Zusätze:

1. 18 g präzipitierte Kreide (sie wurde gewählt, um ganz reinen kohlensauren Kalk zu verwenden, da im gemahlenen Kalkstein noch andere mineralische Bestandteile vorhanden sein konnten).
2. 18 g kohlensaurer Kalk.
3. 15 g kohlensaures Magnesium.
4. 35,5 g kohlensaures Baryum.
5. 3,7 g Chlorbaryum.

6. 8,5 g kohlensaures Natrium.
7. 7,6 g kohlensaures Kalium.
8. a) 3 g, b) 8 g kalkfreie Nährsalze.
9. Ohne Zusatz.

Die Unterschiede in der Entwicklung der Pflanzen machten sich in höherem Maße bei den Wurzeln als bei den oberirdischen Teilen der Pflanze bemerkbar, wenn sie auch hier nachweisbar waren. Es genügt deshalb, Angaben über das Wachstum der Wurzeln neben der Größe der gesamten Pflanze zu machen.

Fichte: Ganz kümmerlich war die Entwicklung der Wurzeln im Sand mit Magnesiazusatz. Einschließlich des Wurzelsystems waren die Pflanzen durchschnittlich 49—55 mm hoch. Das Wurzelsystem war ganz klein, teilweise war nur die Hauptwurzel ohne Nebenwurzeln vorhanden. In anderen Fällen blieb die Hauptwurzel ganz kurz, und es traten eine oder mehrere Nebenwurzeln auf, von denen die eine oder andere gelegentlich etwas größere Dimensionen annahm. Das Wurzelsystem ist viel kärglicher als das der Pflanzen, die im Sand ohne Zusatz wuchsen, wo es sonst am kleinsten geworden war. Viel größere Wurzelsysteme als die Sandpflanzen wiesen die Pflanzen aus dem Sand mit den Zusätzen von kohlensaurem Kalk, Kreide, Baryumkarbonat, Chlorbaryum und den Karbonaten der Alkalien auf. Bei den Sandpflanzen war die Verzweigung der Wurzeln durchschnittlich nicht sehr beträchtlich und die Länge der Hauptwurzel war mit einzelnen Ausnahmen nur gering. Die Größe der ganzen Pflanze schwankte zwischen 70—90 mm, doch kamen vereinzelt auch einige höhere vor, bis zu 120 mm. Die Größenunterschiede waren wesentlich durch die Entwicklung der Wurzeln bedingt. Einzelne Pflanzen hatten eine längere Hauptwurzel gebildet, die zwischen 35 und 70 mm schwankte. Bei den meisten Exemplaren war die Hauptwurzel kurz geblieben, und es waren eine oder mehrere Nebenwurzeln aufgetreten.

Lange Hauptwurzeln finden sich an den Pflanzen, welche im Sande mit Kreidezusatz wuchsen. Wenn von vereinzelten Exemplaren abgesehen wurde, bei denen die Hauptwurzel kurz geblieben war, bei denen sich aber die Nebenwurzeln dafür um so kräftiger entwickelt hatten, so schwankte die Länge der Hauptwurzel zwischen 85 und 155 mm. Der Zusatz von kohlensaurem Kalk begünstigte in ähnlicher Weise wie die Kreide das Längenwachstum der Wurzeln, allerdings kamen auch Pflanzen mit kürzeren Wurzeln vor. Von 36 gemessenen Wurzeln war die

Hälfte über, die andere unter 100 mm lang, jene im Durchschnitt 120, diese 77 mm lang; die kürzeste Wurzel war 50, die längste 145 mm lang. Es kann also für derartige Versuche der kohlensaure Kalk ebenso gut benutzt werden wie die präzipitierte Kreide. Nicht ganz so hohe Werte wie die Wurzeln im Sande mit Kalkzusatz wiesen die Wurzeln aus dem Sande mit Zusatz von Baryumkarbonat auf. Durchschnittlich waren die Wurzeln 90 mm, einzelne Exemplare freilich nur 70 mm, andere dafür aber 120 mm lang. Auch in den Verzweigungsverhältnissen ähnelten diese Wurzeln denen der gekalkten Pflanzen. Ähnlich wie gegen das Baryumkarbonat verhielten sich die Fichten gegen das Chlorbaryum. Hier schwankte die Länge der Wurzeln zwischen 70 und 90 mm, stieg in einzelnen Fällen auf 100 und sogar 140 mm. Im Durchschnitt waren die Wurzeln etwas kürzer als beim Baryumkarbonat.

Der Zusatz der Alkalikarbonate zum Sande hatte das Längenwachstum der Wurzeln gleichfalls begünstigt. Die Länge der Hauptwurzel schwankte beim Natriumkarbonat zwischen 77 und 140, beim Kaliumkarbonat zwischen 77 und 125 mm. Die Wurzeln waren also erheblich länger als die der Sandpflanzen. Auch in dem Topfe, welcher einen Zusatz von kalkfreien Nährsalzen erhalten hatte, entwickelten sich die Wurzeln noch etwas kräftiger als im reinen Sand. Die Länge der Hauptwurzel schwankte in dem Gefäß mit 3 g Salzen durchschnittlich zwischen 45 und 87 mm, betrug in einem Falle sogar 110 mm, in dem Gefäß mit 8 g Salzen schwankte sie zwischen 50 und 77 mm, und betrug in einem Falle 112 mm. Wenn man den Durchschnitt aller gemessenen Wurzeln vergleicht, so war die Länge der Wurzeln im Topf mit 3 g Salzen etwas größer als im Topf mit 8 g Salzen. Im allgemeinen war die Verzweigung der Wurzeln bedeutender als bei den Sandpflanzen.

Kiefer. Der Hauptsache nach lagen bei der Kiefer die Verhältnisse wie bei der Fichte, nur daß die Unterschiede zum Teil noch schärfer hervortraten. Die Magnesiumpflanzen waren sehr kümmerlich, das Wurzelsystem war noch kleiner und kümmerlicher als bei der Fichte. Die Länge der ganzen Pflanze schwankte zwischen 42 und 91 mm; nur eins der gemessenen Exemplare hatte eine Länge von 160 mm, wovon 30—45 mm auf den oberirdischen Teil entfielen.

Im Sande mit Kreidezusatz waren die Wurzeln im Durchschnitt von 16 Exemplaren 136 mm lang geworden. Abgesehen

von zwei Exemplaren, deren Hauptwurzel 70—90 mm betrug, schwankte die Wurzellänge zwischen 100 und 200 mm. Im Sande mit Zusatz von kohlensaurem Kalk war das Ergebnis das gleiche. Unter 38 gemessenen Wurzeln waren nur drei unter 100 mm und zwar eine mit dem Minimalbetrag von 75 mm. Die maximale Länge betrug 180 mm, die durchschnittliche Länge 139 mm.

Mehr als der kohlensaure Kalk hat das Baryumkarbonat das Längenwachstum der Wurzeln gefördert. Die kürzeste Wurzel hatte eine Länge von 110, die längste eine solche von 215 mm. Die mittlere Länge im Durchschnitt von 14 Exemplaren betrug 162 mm. Erheblich weniger günstig hatte das Chlorbaryum gewirkt. Die Länge der Hauptwurzel schwankte zwischen 30 und 120 mm und betrug im Durchschnitt von 20 Exemplaren 67 mm. Immerhin war der Zuwachs noch ansehnlicher als bei den Sandkiefern.

Die Karbonate der Alkalien hatten das Wurzelwachstum sehr begünstigt und zwar Natriumkarbonat noch etwas mehr als Kaliumkarbonat. Bei letzterem schwankte die Wurzellänge zwischen weiten Grenzen, nämlich zwischen 55 und 200 mm und betrug im Durchschnitt 103 mm. Beim Natriumkarbonat waren die Extreme nicht so bedeutend; die Wurzellänge schwankte zwischen 85 und 175 mm und betrug im Mittel 114 mm. Die Begünstigung des Wurzelwachstums durch die kalkfreien Nährsalze war unbedeutend. Von den Pflanzen aus dem Topf mit Zusatz von 8 g Salzen wurden 28, aus dem anderen Topf 29 Exemplare gemessen. Im ersteren Falle betrug die durchschnittliche Länge der Hauptwurzel 47, im letzten Falle 41 mm. Bei den ersteren Pflanzen maß die längste Wurzel 103, die kürzeste 20 mm, bei den letzteren die längste Wurzel 74, die kürzeste 22 mm. Die Verzweigung der Wurzeln war in beiden Fällen ziemlich beträchtlich, doch blieben die Nebenwurzeln in der Regel ungleich kurz, entsprechend dem beschränkten Längenwachstum der Hauptwurzel.

Nach den vorstehenden Angaben wirkt ein Zusatz von kohlensaurem Baryum zum Sande sowohl bei Fichte wie bei Kiefer in demselben Sinne fördernd auf das Längenwachstum der Wurzeln wie der Kalk, bei der Kiefer sogar in noch höherem Maße, während durch einen Zusatz von Magnesiumkarbonat das Längenwachstum stark herabgesetzt wird, so daß das Magnesium unverkennbar unter diesen Umständen für Fichte und Kiefer schädlich ist. Auch Chlorbaryum begünstigt das Längenwachstum der Wurzeln bei

beiden Pflanzenarten, wenn auch in geringerem Maße als Baryumkarbonat. Die Alkalikarbonate begünstigen das Längenwachstum der Wurzeln bedeutend, wenn auch nicht so stark wie der Kalkzusatz. Auch durch die kalkfreien Nährsalze findet eine Förderung des Längenwachstums statt.

Diese Versuchsergebnisse zeigen wenigstens für die Fichte, daß es augenscheinlich sehr auf die Beschaffenheit des Bodens ankommt, ob die betreffenden Zusätze schädlich oder gar nützlich wirken. Eine Einsicht in den Zusammenhang dieser Verhältnisse ist aus den bisherigen Beobachtungen nicht zu gewinnen. Auffällig ist das ungleiche Verhalten der Fichte gegen Baryumkarbonat, Alkalikarbonat und Magnesiumkarbonat im Sande und im sauren Boden. Aus den Löslichkeitsverhältnissen der Salze lassen sich die Erscheinungen schwerlich erklären.

Ehe nicht das ungleiche Verhalten der Fichte gegen die genannten Verbindungen im sauren Boden und im Sande aufgehellt ist, sind auch die oben mitgeteilten Versuche über die sauren Böden mit den Zusätzen von Baryum, Magnesium und Natrium nicht geeignet, die Frage zu entscheiden, ob der Kalkzusatz in solchen Böden nur durch Abstumpfung der freien Humussäuren oder durch den spezifischen Charakter des Kalziums wirkt.

bb) Versuche mit Heideerde in Töpfen.

Zur Entscheidung der Frage, ob die wachstumsfördernde Wirkung des Kalkzusatzes zu dem sauren Boden auf einer Neutralisierung der Humussäuren beruht, können auch Versuche herangezogen werden, die ich angestellt habe, um den Einfluß von Blei- und Zinkverbindungen auf die Pflanzen kennen zu lernen, über die eingehend in einem späteren Kapitel, S. 178, berichtet werden soll. Den Anstoß zu diesen Versuchen gab die Beobachtung, daß im Boden der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf in der Oberförsterei Zellerfeld ein sehr hoher Bleigehalt, bis zu 2%, gefunden wurde, so daß der Gedanke nahe lag, bei der Zerstörung der Vegetation in diesem Rauchschadengebiet könnte eine Vergiftung durch das aus dem Flugstaub herrührende Blei mitgewirkt haben. Als saurer Versuchsboden wurde Heideerde gewählt, und die Versuche in Töpfen, die im Garten standen, ausgeführt. Als Zusätze wurden gewählt: Bleiglätte, Mennige und Bleiweiß — die Versuche mit Zinkweiß können hier unberücksichtigt bleiben —, die teils so,

teils zusammen mit kohlensaurem Kalk in solchen Verhältnissen zu der Heideerde gesetzt wurden, daß der Bleigehalt im Boden 2% betrug. Die mit der Fichte während zweier Jahre durchgeführten Versuche gaben für unsere Zwecke keine brauchbaren Resultate, da die Heideerde immerhin so kalkreich war, daß ein Kalkzusatz keinen Einfluß auf das Wachstum der Fichten hatte. Die Bleiverbindungen hatten im allgemeinen nicht geschadet, nur standen die Fichten in den Töpfen mit Bleiglätte und Bleikarbonat ohne Kalkzusatz schlechter als in denen mit einem Zusatz von kohlensaurem Kalk.

Die gleichen Versuche wurden auch mit *Lupinus luteus* ausgeführt. Bei ihrem größeren Kalkbedürfnis entwickelten sich die Lupinen besser in der gekalkten als in der ungekalkten Heideerde. Dementsprechend war auch ihr Verhalten in der Heideerde mit den Zusätzen der Bleiverbindungen. Würde die Begünstigung des Wachstums der Lupinen durch den Kalkzusatz auf einer Abstumpfung der Humussäuren beruhen, so müßten die Lupinen in der Heideerde mit Zusatz von Bleiverbindungen besser gediehen sein als in der Heideerde ohne diesen Zusatz, da sie ja die Säuren abstumpfen können, was aber nicht der Fall war. In der Heideerde mit Zusatz von Bleiglätte und Bleikarbonat standen die Lupinen sogar schlechter als in der Heideerde ohne jeglichen Zusatz. Die Pflanzen hatten in diesen Töpfen ein kümmerliches Wurzelsystem gebildet, woraus geschlossen werden muß, daß die Lupinen durch die Bleiverbindungen geschädigt wurden. Von einer derartigen schädigenden Wirkung der Bleiverbindungen war in den Töpfen, die einen Kalkzusatz erhalten hatten, nichts zu spüren. Hier hatten sich große Wurzelsysteme gebildet, und die oberirdischen Teile hatten sich kräftiger entwickelt. Die Lupinen verhielten sich also ganz entgegengesetzt wie die Fichten, boten aber keinen Anhalt dafür, daß die Wirkung des Kalks auf einer Neutralisierung der freien Humussäure beruht. Allerdings könnte man anführen, daß auch diese Versuchsergebnisse nicht entscheidend wären, da z. B. das Bleikarbonat und die Bleiglätte schädigten. Da aber eine derartige schädliche Wirkung bei der Mennige nicht eingetreten ist, so spricht das schlechte Gedeihen der Lupinen bei ihr zugunsten der Auffassung, daß es sich bei der Förderung des Wachstums durch Kalkzusatz um Beseitigung eines Kalkmangels und nicht um Neutralisierung von Humussäuren handelt.

cc) Versuche mit Moorboden.

Mit Rücksicht auf das Studium der Bleiverbindungen in ihrer Beziehung zum Pflanzenwachstum wurde eine größere Reihe von Versuchen mit Moorboden ausgeführt, über die Näheres im Kapitel „Die Wirkung metallischer Gifte im Boden auf das Pflanzenwachstum", S. 178, angegeben ist. Auch hier fanden Parallelkulturen mit Zusatz von Kalk und ohne solchen statt. Ihre Ergebnisse können deshalb auch hier angezogen werden. Indem ich die Versuche mit Zinkweiß, da es immer giftig wirkte, beiseite lasse, kommen wiederum die Versuche mit Mennige, Bleiglätte und Bleikarbonat in Betracht. Bei diesen Versuchen war eine große Zahl von Pflanzenarten ausgesät worden: Fichte, Kiefer, Krummholzkiefer, Rotbuche, Roteiche, Eiche, Erbsen, gelbe Lupine, Raps, Buchweizen, Weizen, Roggen und Hafer. Die Ergebnisse der Versuche lassen sich dahin zusammenfassen, daß der kohlensaure Kalk nicht durch Bleiglätte, Mennige und Bleiweiß ersetzt werden kann. Ohne Zusatz von Kalk, lediglich mit Zusatz von Bleiverbindungen sind alle genannten Pflanzenarten zugrunde gegangen mit Ausnahme von den drei Nadelhölzern, die sich während der ganzen Beobachtungsdauer von zwei Jahren hielten. Sie waren zwar besser gekommen als auf dem ungekalkten, aber erheblich schlechter als auf dem gekalkten Moorboden. Da die Neutralisierung durch Bleiverbindungen ebenso gut erfolgen könnte wie durch Kalk, so kann das schlechtere Gedeihen auf den Moorparzellen mit Bleiverbindungen ohne Kalkzusatz gegenüber dem besseren Gedeihen auf dem gekalkten Moor mit oder ohne Zusatz von Bleiverbindungen nur so gedeutet werden, daß die Kalkung erforderlich ist, um den für die Ernährung und das Wachstum der Pflanzen notwendigen Kalk dem Boden zuzuführen.

Die Versuche mit der Heideerde in Töpfen und mit Moorboden machen es sehr wahrscheinlich, daß der Kalkzusatz zu den kalkarmen Böden erforderlich ist lediglich, um den fehlenden Nährstoff dem Boden zuzuführen. Nach neueren Untersuchungen, die allerdings nicht unwidersprochen geblieben sind, sollen in den sauren Böden die angeblichen freien Humussäuren gar nicht existieren. Stellt man sich auf diesen Standpunkt, und er scheint gegenüber dem früheren die größere innere Berechtigung zu haben, so fällt das Moment der Neutralisation der Säuren ganz weg, und im kalkarmen sauren Boden ist der Kalkzusatz nötig, weil er für die Ent-

wicklung der Pflanzen nicht den ausreichenden Kalkgehalt besitzt. Nach den Untersuchungen von A. Baumann und E. Gully[1]) sind die Humusstoffe des Moorbodens absorptiv ungesättigt, vermögen Lösungen von Salzen zu zerlegen, so daß ihre Säure ausgeschieden wird. Die angebliche neutralisierende Wirkung des Kalkzusatzes zum sauren Moorboden beruht darauf, daß aus dem kohlensauren Kalk die Kohlensäure ausgeschieden wird, die entweicht und den Boden im strengen Sinne des Wortes nicht sauer machen kann. Andererseits ist damit zunächst die Absorptionsfähigkeit der Humusstoffe gesättigt. Bringt man hingegen in den sauren Moorboden Salze mit einer starken Mineralsäure, so wird diese ausgeschieden, macht den Boden sauer und tötet die eventuelle Vegetation. So entwickelten sich die auf einer ausschließlich mit Gips gedüngten Moorparzelle ausgesäten Pflanzen zunächst kümmerlich und starben schnell ab. Hier kann es sich nur um eine Vergiftung des Bodens durch freie Schwefelsäure gehandelt haben, denn an sich können die Pflanzen ihren Kalkbedarf sehr gut aus Gips decken, wie mir entsprechende Versuche in Sand gezeigt haben. Auch schadete der Gipszusatz zum Moorboden gar nicht, wenn außerdem noch kohlensaurer Kalk hinzugefügt worden war. Wie Moorboden müssen sich aber alle sauren Böden verhalten. So gingen die Pflanzen in einem sauer gewordenen Ackerboden ein, der mit schwefelsaurem Ammonium gedüngt worden war. Auch hier muß der Grund in der entbundenen Schwefelsäure gesucht werden.

Der höhere oder geringere Grad der Azidität der Böden zeigt demnach nicht ohne weiteres einen höheren oder geringeren Gehalt an freier Säure im Boden an, sondern nur eine höhere oder geringere Fähigkeit zur Zerlegung von Salzen und damit für die Ausscheidung freier Säuren. Ein stark saurer Boden kann also tatsächlich frei von Säure sein. Ein Zusatz von Kalk zu stark sauren Böden dient also nicht dazu, freie Säure zu binden, sondern dem Boden einen Stoff zuzuführen, an dem er für eine normale Entwicklung der Vegetation Mangel leidet. So müssen wir denn auch für die Böden im Claustaler Rauchschadengebiet die Ursache des mangelhaften Wachstums nicht im schädlichen Einfluß freier Säuren, sondern in einem Mangel an Kalk erblicken.

[1]) Untersuchungen über die Humussäuren II. Die freien Humussäuren des Hochmoores. Ihre Natur, ihre Beziehungen zu den Sphagnen und zur Pflanzenernährung. — Mitteilungen der k. Bayr. Moorkulturanstalt. Heft 4, 1910.

Hiermit steht auch im besten Einklang die Wirkung, welche der Kalk auf das Wachstum der Wurzeln ausübt, wovon ich mich durch besondere Versuche überzeugt habe.

2. Der direkte Einfluß von Kalk auf das Wachstum der Wurzeln.

Diese Versuche wurden unter der damals herrschenden Anschauung begonnen, daß in sauren Böden freie Humussäuren vorhanden wären. Es sollte durch die Versuche wahrscheinlich gemacht werden, daß trotz einer eventuellen Neutralisierung dieser Säuren dennoch der Kalkzusatz es wäre, der direkt das Wachstum der Wurzeln beeinflußte. Als Medium für die Versuche wurde ein nicht saures gewählt, und zwar ein sehr kalkarmer Sand, in dem der Zusatz des Kalkes sich deutlich im Wachstum der Pflanzen bemerkbar machte. Die ersten Versuche wurden im Jahre 1909 mit Fichte und gelber Lupine angestellt. Im folgenden Jahre wurden die Versuche mit Fichte wiederholt, im Jahre 1911 wiederum, außerdem neue mit Kiefer, *Pinus Strobus*, *P. austriaca*, *P. cembra*, *P. pinaster*, *Picea pungens*, *P. pungens glauca*, *Abies Douglasii*, *A. Nordmanniana* und *Larix europaea* angestellt. Die ersten Versuche mit Kiefer waren 1910 angestellt worden. Ferner wurden gelegentlich noch Versuche mit Hafer und Sonnenblumen ausgeführt. Ein Versuch mit Buche scheiterte, weil der Samen nicht keimte. Die Versuche wurden in Töpfen angestellt, meistens in solchen, die 5 kg Sand enthielten, einige in kleineren. Ihm wurde 1% kohlensaurer Kalk zugesetzt. Die Töpfe standen im Garten unter Drahtgeflecht zum Schutze gegen die Vögel. Sie wurden regelmäßig begossen und, soweit es sich um ausdauernde Pflanzen handelte, im Räucherhaus im Garten überwintert.

Fichte: Im reinen Sande war nur ein ganz kleines Wurzelsystem gebildet worden, das an das kümmerliche Wurzelsystem der Fichten auf den verschiedenen Versuchsflächen im Harz erinnerte. Hätten die Pflanzen nicht die sorgsame Pflege gehabt, die sie im Garten genossen, so wären sie ebenso wie die Exemplare im Harz zugrunde gegangen. Im gekalkten Sande war ein großes verzweigtes Wurzelsystem entstanden. Die ungekalkten Pflanzen waren im Laufe des Winters abgestorben, während die gekalkten Pflanzen bei der Revision am 27. Mai 1910 frische Wurzelspitzen besaßen und ihre Knospen austrieben. Diese Pflanzen haben sich auch die folgenden Jahre hindurch am Leben gehalten und sind

jährlich sogar etwas gewachsen. Trotz des großen Wurzelsystems waren die Stämmchen klein geblieben, da der Sand augenscheinlich nur wenig Nährstoffe enthielt.

Die Aussaaten des Jahres 1910 lieferten wenigstens für die ungekalkten Exemplare etwas bessere Resultate. Diesmal hatten die ungekalkten Pflanzen sich den Winter über gehalten; sie hatten bei der Besichtigung im Frühjahr 1911 ein kümmerliches Wurzelsystem, während die gekalkten Exemplare ein großes, verzweigtes Wurzelsystem besaßen. Im Jahre 1911 sind die Wurzeln im Sande noch etwas, die der gekalkten Pflanzen stark gewachsen und haben ein großes, kräftiges, gut verzweigtes Wurzelsystem gebildet.

Im Jahre 1911 war eine Aussaat gemeinsam mit der Kiefer in denselben Topf gemacht worden. Hier wuchs die Fichte im reinen Sande noch besser als im vorhergehenden Jahre. Im gekalkten Sande waren wiederum sehr große und stark verzweigte Wurzeln gebildet worden. Präzipitierte Kreide, die einem anderen Topf, aber in derselben Menge zugesetzt worden war, hatte das Wurzelwachstum noch mehr begünstigt als der kohlensaure Kalk.

Kommen nun auch kleine Schwankungen im Wachstum der Wurzeln im reinen Sande vor, so tritt doch die gewaltige Förderung des Wurzelwachstums durch den kohlensauren Kalk überall deutlich hervor.

Kiefer: Die Entwicklung der 1910 ausgesäten Kiefern war ganz gleichsinnig der der Fichte. Im reinen Sande war ein kleines, kurzes, wenig ausgebreitetes, im gekalkten Sande ein großes kräftiges Wurzelsystem entstanden.

Die gemeinsamen Aussaaten von Fichte und Kiefer im Jahre 1911 ergaben für die Kiefer dasselbe Ergebnis wie im Vorjahre, nur war die Entwicklung ebenso wie bei der Fichte auch bei der Kiefer im reinen Sande etwas besser. Die gekalkten Pflanzen hatten ein sehr großes und stark verzweigtes Wurzelsystem gebildet. Im Topf mit Kreidezusatz war es noch größer und kräftiger geworden als im Topf mit kohlensaurem Kalk. Diese günstigere Wirkung der Kreide dürfte wohl auf die leichtere Angreifbarkeit durch das kohlensäurehaltige Wasser infolge feinerer Verteilung zurückzuführen sein.

Die anderen, im Jahre 1911 ausgesäten Nadelhölzer hatten mit Ausnahme von *Abies Nordmanniana* und *Pinus cembra*, die beide nicht gekeimt hatten, im wesentlichen ähnliche Resultate

geliefert. Überall war eine starke Begünstigung des Wurzelwachstums durch den Kalkzusatz festzustellen. Vielfach sind im reinen Sande die Wurzeln kräftiger gekommen als bei Fichte und Kiefer, was auf geringere Ansprüche an den Kalk hinweist. Bei der Lärche war es allerdings anders, da machten sogar die gekalkten Exemplare einen kümmerlichen Eindruck.

Lupinus luteus: Die Versuche wurden im Jahre 1909 ausgeführt. Am 2. August standen die Pflanzen im gekalkten Sande sehr gut; im reinen Sande waren die Pflanzen erheblich kleiner und schwächlicher. Am 1. September standen die Sandexemplare sehr schlecht, ein Teil der Pflanzen war schon zugrunde gegangen. Am 15. September wurden die Pflanzen herausgenommen. Im Sande waren 10 Exemplare vorhanden mit einer durchschnittlichen Höhe der oberirdischen Teile von 17,5 cm. Nur ein Exemplar hatte geblüht, aber nicht fruktifiziert. Der Topf mit Kalkzusatz enthielt 64 Exemplare, von denen 30 vertrocknet waren. Die durchschnittliche Höhe der oberirdischen Teile bei den anderen betrug:

	Anzahl der Stengel	Länge der Stengel
ohne Blüten . . .	13	24 cm
mit „ . . .	6	26 „
„ Früchten . .	15	32 „

Die Wurzeln der gekalkten Pflanzen waren im Gegensatz zu denen der ungekalkten lang. Daß auch im gekalkten Sande die Bedingungen für eine üppige Entwicklung der Lupinen nicht gegeben waren, liegt auf der Hand, spricht sich auch in dem Längenwachstum der Stengel, in der geringen Zahl und Kleinheit der Früchte aus. Knöllchen wurden auch an den gekalkten Exemplaren nicht beobachtet. Immerhin ist der Unterschied in der Entwicklung der gekalkten und ungekalkten Pflanzen sehr groß, was dem Kalkgehalt des Bodens zuzuschreiben ist.

Sonnenblume: Am 9. September 1910 waren im reinen Sande kleine, nicht sehr gut aussehende Pflanzen vorhanden. Im Sand mit Kalkzusatz waren alle Samen gekommen; die Pflanzen standen gut und waren erheblich größer als die Sandexemplare. Beim Herausnehmen aus den Töpfen traten die Unterschiede zwischen den Pflanzen in ihrer gesamten Entwicklung erst recht deutlich hervor. Bei den ungekalkten Exemplaren war das Wurzelsystem ganz klein und kümmerlich, im günstigsten Falle 2,5 cm lang, der

Stengel halb so lang wie bei den gekalkten Exemplaren. Diese hatten bis 30 cm lange und viel verzweigtere Wurzeln als die ungekalkten Exemplare.

Hafer: Am 25. Juni 1910 waren die Samen ausgesät worden; die Pflänzchen wurden am 14. August herausgenommen. Alle Pflanzen waren verhältnismäßig kurz geblieben, aber die im Sande mit Kalkzusatz waren erheblich größer als die ungekalkten. Die Länge der oberirdischen Teile schwankte bei den Sandpflanzen zwischen 50 und 100 mm und betrug im Durchschnitt bei 15 Exemplaren 72 mm; die Länge der oberirdischen Teile betrug bei den gekalkten Sandpflanzen im Mittel von 19 Exemplaren 105 mm und schwankte zwischen 45 und 150 mm. Die Wurzellänge schwankte bei den Sandpflanzen zwischen 50 und 160 mm und betrug im Mittel 104 mm; bei den gekalkten Pflanzen schwankte sie zwischen 95 und 270 mm und betrug im Mittel 188 mm.

Übereinstimmend zeigen alle daraufhin untersuchten Pflanzen im Sand auf Zusatz von Kalk eine starke Förderung des Wurzelwachstums, eine Steigerung des Längenwachstums der Haupt- und Nebenwurzeln und eine Vermehrung der Wurzelverzweigungen. Es treten im Sande dieselben Erscheinungen auf wie auf den Versuchsflächen im Harz mit und ohne Zusatz von Kalk. Wir sind demnach berechtigt, anzunehmen, daß auch hier die beobachteten Wachstumsverhältnisse der Wurzeln durch den Kalkgehalt des Bodens bestimmt werden und nicht etwa durch freie Humussäuren, deren Existenz wir als ausgeschlossen betrachten. Es wirkt also der Kalkzusatz zu den Böden an sich fördernd auf das Wurzelwachstum und nicht dadurch, daß es den wachstumshemmenden Einfluß der Säuren aufhebt.

Worin besteht nun dieser wachstumsfördernde Einfluß des Kalkes? Übt er einen besonderen Reiz auf das Wachstum aus, oder liegen die Verhältnisse vielleicht komplizierter? In neuerer Zeit hat man etwas mehr Einsicht in die Rolle des Kalkes gewonnen, es ist deshalb notwendig, näher auf die einschlägige Literatur einzugehen. Schon seit längerer Zeit, gelegentlich Untersuchungen mit Wasserkulturen, hat man beobachtet, daß, wenn man Lösungen von Kalium- oder Magnesiumsalzen auf die Pflanzen, wenn auch in sehr starken Verdünnungen, einwirken läßt, diese Elemente für die Pflanzen giftig sind, obgleich sie ebenso wie der Kalk, von dem derartiges nicht zu beobachten war, notwendige Nährstoffe für die Pflanzen sind. Der Kalk

schädigt nicht nur nicht, sondern fördert das Wachstum, gleichsam als wenn er einen Reiz auf die wachsende Wurzel ausübte. Diese giftige Wirkung der genannten Metalle verschwindet vollständig, wenn ihre Verbindungen zusammen mit Kalkverbindungen auf die Wurzeln einwirken, wie es z. B. in einer normalen Wasserkultur geschieht. Der Kalk wirkt entgiftend. Namentlich das Magnesium ist in wässerigen Lösungen sehr giftig für die Wurzeln. Die Ursache der Giftwirkung des Magnesiums sieht Loew darin, daß die Kalziumverbindungen des Nukleïns und Plastins in den Zellkernen und Chlorophyllkörpern zerstört werden, indem das Kalzium gegen Magnesium ausgetauscht wird, wodurch Strukturstörungen eintreten, die zum Tode führen. Er faßt seine Ansicht folgendermaßen zusammen:

„Da Zellen und Chlorophyllkörper Kalziumverbindungen des Plastins und Nukleïns enthalten, so wird bei der Einwirkung von Magnesiumsalzen starker Säuren ein Austausch von Kalk gegen Magnesia stattfinden müssen. Hierdurch wird aber auch die physikalische Beschaffenheit der Gerüstsubstanz verändert, die Quellungskapazität wird eine andere und wahrscheinlich die Festigkeit verringert. Diese bringt aber eine Strukturstörung mit sich, infolgedessen auch eine Umlagerung der aktiven Proteïnstoffe zu passiven erfolgt, welche den Tod der ganzen Zelle mit sich zieht. Deshalb kann nur die gleichzeitige Gegenwart von Kalksalzen diese Giftwirkung bis zu einem gewissen Grad aufheben. Sind nämlich genügende Mengen von Kalziumsalzen in der Lösung vorhanden, so kann nach dem Gesetz der Massenwirkung die umgekehrte Reaktion eintreten, d. h. das in die organisierte Kernsubstanz an Stelle von Kalzium getretene Magnesium wird wieder durch Kalzium ersetzt.“ [1])

Da aber für die Entwicklung der höheren Pflanzen das Magnesium ebenso notwendig ist wie das Kalzium, so muß ein bestimmtes Verhältnis zwischen beiden in Nährlösung oder im Boden bestehen, damit die maximale Substanzproduktion erfolgt. Dies optimale Verhältnis zwischen CaO und MgO bezeichnet Loew als „Kalkfaktor“. Von ihm selbst oder auf seine Anregung hin ist für mehrere Pflanzen der „Kalkfaktor“ bestimmt worden. Er beträgt 1 : 1 für Halmfrüchte, 2 : 1 für junge Bohnen und Kohl,

[1]) B. Hansteen, Über das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen I u. II. Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. 47, 1910. Hier ist die einschlägige Literatur angeführt.

3 : 1 für Buchweizen und Maulbeerbaum. Die praktische Bedeutung des Kalkfaktors für die Landwirtschaft ist einleuchtend.

Zur Prüfung des theoretischen Standpunktes von Loew auf seine Richtigkeit sind sehr interessante Untersuchungen von Hansteen[1]) ausgeführt worden, der zu ganz anderen Resultaten als Loew kommt. Er hat ausschließlich mit Wasserkulturen und zwar mit reinen Lösungen von Kalium-, Natrium-, Magnesium- und Kalziumverbindungen in sehr niedrigen Konzentrationen experimentiert. In sehr verdünnten Lösungen wirkten die Magnesiumsalze giftig, die Kaliumsalze etwas weniger giftig, doch sind diese viel leichter zu entgiften als die Magnesiumverbindungen.

„In geeigneten Mischungen von je zwei der genannten Salze werden aber die giftigen Eigenschaften der Kationen mehr oder weniger aufgehoben. Die Kalium- und Magnesiumionen paralysieren gegenseitig ihre Giftwirkungen ziemlich weitgehend, aber nicht vollständig, während der Antagonismus zwischen Na- und K-Ionen kaum merkbar ist. Dagegen können die Ca-Ionen die schädliche Wirkung sowohl der K- wie der Mg-Ionen vollständig neutralisieren, selbst dann, wenn diese Salze in der Lösung in relativ großer Menge zugegen sind. Doch geschieht dies viel leichter in einer Lösung von Kalium als in einer solchen von Magnesium. Denn, während es zur völligen Entgiftung einer Magnesiumlösung notwendig war, daß in diese mindestens 1 T. Ca auf 2 T. Mg kommen, ließ sich eine Kaliumlösung schon mit 1 T. Ca auf ca. 1000 T. K so gut wie ganz entgiften. Dabei kam es auf die in der Mischung vorhandenen Anionen nicht an, und da zudem die Mengen der Ca-Salze nur winzig klein waren, können diese antitoxischen Eigenschaften weder auf einen direkten Einfluß der Kalksalze auf die toxische Lösung, noch auf einer verringerten Dissoziation in dieser letzteren beruhen.“

In den Magnesialösungen, selbst den schwächsten von 0,0047 %, war das Wurzelleben der Weizenpflänzchen ganz unmöglich gemacht. Die Lösungen von Kaliumnitrat waren etwas günstiger, aber selbst in einer verdünnten Lösung von 0,0505 % fand kein Wurzelwachstum statt. Wurzelhaare traten an den Wurzeln in den Kalium- und Magnesiumlösungen nicht auf. Ganz anders verhielten sich die Kalziumsalze. Selbst in 0,328 % Lösungen waren keine wurzelzerstörende Eigenschaften zu bemerken; im Gegenteil

[1]) A. a. O.

die Ca-Ionen beförderten die Ausbildung der Wurzeloberfläche, besonders dadurch, daß sie das Auftreten zahlreicher und großer Wurzelhaare veranlaßten. Ebenso wie in den Kalklösungen verhielten sich die Wurzeln in feuchter Luft, in der sie gleichfalls reichlich gebildet wurden. Destilliertes Wasser erwies sich durch die Abwesenheit des Kalkes als ebenso schädlich wie die oben erwähnten Salze.

Ein längerer Aufenthalt einer Wurzel in einer Magnesiumlösung führt zu ihrem Untergange, sie wird zerstört. Und zwar beginnt die Zerstörung in der Streckungszone der wachsenden Wurzel, wo in den Kalklösungen und im feuchten Raume die Wurzelhaare entstehen, und wo infolge der Streckung der Zellen ausgiebig Zellwände gebildet werden. Von diesem Angriffspunkt pflanzt sich die Zerstörung nach vorwärts und rückwärts fort, aber nur so weit, als die Wurzel direkt mit der Lösung in Berührung kommt. Unter Verfärbungserscheinungen sterben die Gewebe ab, die Zellen trennen sich voneinander und die Membranen verschleimen. Diese Erscheinung ist auf eine Entkalkung der Membranen zurückzuführen; denn diese sollen kalkhaltig sein, besteht doch nach Mangin die Mittellamelle hauptsächlich aus pektinsaurem Kalk.

Im feuchten Raum werden die Wurzelhaare auf Kosten des in der Pflanze enthaltenen Kalkes gebildet. Dieser ist aber nicht ausreichend, um die lösende Wirkung einer Magnesiumlösung aufzuheben. Kalziumlösungen schädigen nie und können selbst noch in verhältnismäßig hohen Konzentrationen starkes Wachstum bewirken, wenn es auch mit abnehmender Konzentration zunimmt, wie aus der folgenden Zusammenstellung hervorgeht. Bei Beginn des Versuches war die Keimwurzel des Weizens 2,5 cm lang. Das benutzte Kalksalz war salpetersaures Kalzium.

	Größte Länge der Wurzel in cm	Seitenwurzeln	Wurzelhaare
0,328 %	16,5	Nicht sparsam bis 2 cm	Relativ sparsam
0,164 „	19,5	Sehr sparsam, meist 0,5—1,5 cm	Nicht sparsam
0,082 „	23,0	Sparsam, bis 1 cm	Reichlich überall
0,041 „	18,5	„ „ 1 „	„ „
0,0205 „	20,0	„ „ 2 „	„ „
0,0103 „	27,0	„ „ 2 „	Sehr reichlich überall
0,0051 „	21,0	„ „ 3 „	Reichlich überall

In Lösungen, welche neben Kalk Magnesiumverbindungen enthalten, wird nach dem Vorstehenden die Ausgiebigkeit des Wurzelwachstums von dem Verhältnis zwischen den Oxyden der beiden Metalle abhängen. Je günstiger sich dies stellt, um so ausgiebiger wird das Wachstum sein, natürlich muß ein Optimum vorhanden sein, wie ja auch Loew gefolgert hat, wenn er auch eine andere theoretische Erklärung für die giftige Wirkung der Magnesiumsalze gibt. Dies Optimum für die Entwicklung der Getreidepflanzen (Weizen, Roggen, Gerste) zu ermitteln, war die Absicht einer Untersuchung von Warthiadi[1]).

Er hat seine Untersuchungen größtenteils mit Sandkulturen, doch zum Teil auch mit Wasserkulturen angestellt. Die günstigsten Gesamtresultate wurden bei einem Verhältnis von CaO : Mg = 1 : 1 erzielt. Über die Entwicklung der Wurzeln geben nur die Wasserkulturen mit Gerste befriedigenden Aufschluß. „Es zeigte sich, daß beim Verhältnis 1 : 1 die Entwicklung und Größe des Wurzelsystems bedeutend besser wie bei 20 : 1, während bei 1 : 20 die Wurzel ganz pathologisch knorrig und verkrümmt ist und bald wie die ganze Pflanze zugrunde geht."

Aus der Untersuchung der Wurzelsysteme aus den Sand- und Wasserkulturen geht hervor, daß günstige Kalkfaktoren allgemein Verzweigung, Üppigkeit und Gewicht des Wurzelsystems bedeutend erhöhen. „Die Behaarung der Wurzel wird durch wechselnde Kalk- und Magnesiaverbindungen äußerst stark beeinflußt. Bei einem günstigen Kalkfaktor ist die Behaarung viel dichter und länger. Bei Kalküberschuß scheint die Behaarung kürzer und unregelmäßiger zu werden. Pathologische Erscheinungen treten aber nicht auf. Bei Magnesiaüberschuß ist die Behaarung ganz bedeutend vermindert und die Haare können sehr stark verkürzt und spärlich werden. Außerdem erfahren die Haare frühzeitig pathologische Deformierungen."

Durch diese Untersuchungen über die Einwirkung des Kalkes auf das Wurzelwachstum sind die Gesichtspunkte gewiesen, unter denen die Wachstumsverhältnisse der Wurzeln auf den Versuchsflächen im Harze mit und ohne Zusatz von Kalk zu betrachten sind. Es sind dabei zwei Momente zu berücksichtigen, der absolute Kalkgehalt und der „Kalkfaktor". Ist der Boden sehr arm

[1]) Warthiadi, Veränderungen der Pflanzen unter dem Einfluß von Kalk und Magnesia. Diss. d. Techn. Hochschule München 1911. In dieser Abhandlung findet sich auch die gesamte einschlägige Literatur angegeben.

an Kalk, wie in unserem Falle, so wird auch die Bodenlösung, aus der die Wurzeln schöpfen, sehr arm an Kalk sein, so daß eventuell nicht die ausreichenden Mengen zum Aufbauen größerer Mengen Zellhaut vorhanden sind. Auch wird sich der Kalkfaktor ungünstig gestalten, wenigstens ist das nach Analogie mit den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen zu erwarten, doch ist etwas Sicheres ohne Versuche nicht zu sagen, denn es liegen einige Beobachtungen vor, nach denen man vermuten könnte, daß sich die Holzgewächse, wenigstens die Fichten, gegen die Magnesiasalze anders verhalten als die anderen Gewächse. Ich erinnere an den auf S. 97 beschriebenen Versuch mit Boden von der dritten neuen Versuchsfläche im Einersberge unter Zusatz von kohlensaurer Magnesia, bei welchem dieser Zusatz das Wurzelwachstum der Fichte ebenso gut gefördert hat wie ein Zusatz von kohlensaurem Kalk, während man einen schädigenden Einfluß erwarten sollte, der auch beobachtet wurde, als das Magnesiumkarbonat zu Sand zugesetzt wurde. Für die Kiefer teilt Hansteen einen vergleichenden Versuch mit 0,164 % salpetersaurem Kalk und 0,148 % salpetersaurer Magnesia mit[1]). „Nach 5 Tagen waren die Wurzeln (in der Kalklösung) zwar nicht stark gewachsen, hatten sich aber sonst schön normal entwickelt. Nach 12 Tagen hatten sich zahlreiche Wurzelhaare gebildet. In der Magnesialösung verhielten sich sämtliche Wurzeln nach 5 und 12 Tagen ganz so wie diejenigen in der Kalklösung. Nur kamen keine Wurzelhaare zur Ausbildung. In beiden Lösungen hielten sich auch die Stengel die ganze Zeit ganz gesund und normal.“ Demnach scheint sich im Wasser die Kiefer gegen Magnesium ungefähr so zu verhalten wie gegen Kalzium.

Wenn nun auch diese beschränkten Erfahrungen nicht gestatten zu entscheiden, ob der Kalkfaktor für die Holzgewächse die gleich große Rolle spielt wie für die landwirtschaftlichen Gewächse, so müssen wir doch mit der Möglichkeit rechnen, daß für sie lediglich der absolute Kalkgehalt von Bedeutung ist. Es ist ja sehr lange bekannt, daß die Ansprüche der Pflanzen an Kalk im Boden sehr ungleich sind, wofür nur auf die kalkliebenden und kalkfliehenden Pflanzen hingewiesen zu werden braucht. Die Pflanzen auf den Versuchsflächen, deren Böden ungleichen Kalkgehalt besitzen, bieten dafür weitere Belege. So stellt die Eiche

[1]) A. a. O. S. 363.

die geringsten Ansprüche, dann folgt die Rotbuche, die man als sehr viel anspruchsvoller erwartet haben würde. Von unseren drei Nadelhölzern stellt die Krummholzkiefer augenscheinlich die geringsten, die Fichte die größten Ansprüche an Kalk. Erheblich anspruchsvoller als alle diese Pflanzenarten scheint Bergahorn zu sein, wenn man nach den gepflanzten Exemplaren urteilt.

Wie dem nun sein mag, ob wir mit dem Kalkfaktor oder nur mit dem absoluten Kalkgehalt rechnen müssen, so viel steht fest, daß ein Absterben der Wurzeln, wie es von Hansteen in Magnesiumlösungen festgestellt, in den Böden der Versuchsflächen nicht beobachtet wurde. Es handelt sich bei den Versuchspflanzen immer nur um eine Hemmung des Wachstums und eine Beeinträchtigung der Verzweigung der Wurzel, und beides ist bei verschiedenen Pflanzenarten und auf den verschiedenen Versuchsflächen graduell verschieden. Aus dem Verhalten der Versuchspflanzen auf den ungekalkten und gekalkten Parzellen läßt sich schließen, wie eine allmähliche Entkalkung des Bodens auf das Wurzelsystem der Pflanzen wirken muß und damit auf ihre gesamte Entfaltung. Zwischen der Ausbildung der oberirdischen Teile und der des Wurzelsystems besteht eine deutliche Wechselwirkung. Eine Pflanze mit einem kümmerlichen Wurzelsystem kann keine üppige Entfaltung der oberirdischen Teile aufweisen, schon aus dem einfachen Grunde, weil der mit einer üppigeren Entfaltung der Anhangsorgane zusammenhängende Transpirationsverlust nicht durch das kümmerliche Wurzelsystem gedeckt werden kann. Derartige Korrelationen zwischen der Ausbildung der ober- und unterirdischen Teile einer Pflanze sind deutlich an den Versuchspflanzen zu beobachten, worauf wiederholt hingewiesen wurde.

Wo im Rauchschadengebiet chronische und unsichtbare Schäden vorhanden sind, beobachtet man mit der Zeit eine Verlangsamung des Wachstums der oberirdischen Teile, welche sich zunächst und vielleicht am deutlichsten in der Größe des jährlichen Höhentriebes ausspricht, ganz besonders scharf bei der Fichte. Der Höhentrieb wird mit der Zeit immer kleiner und schließlich nahezu gleich Null. Eine weitere Erscheinung des verminderten Wachstums ist die Ausbildung kürzerer Nadeln und der Blätter von kleinerer Fläche. Ein Zeichen geschwächter Wachstumsenergie ist ferner das vorzeitige Abfallen älterer Nadeljahrgänge bei den Nadelhölzern, besonders auffällig bei der Fichte, weil sie im wohl ausgebildeten Zustande sieben Nadeljahrgänge besitzt, zu welcher Voll-

kommenheit sie es übrigens nicht in allen rauchfreien Lagen bringt, und das Lichtwerden der Kronen von Laubbäumen infolge einer verminderten Produktion von Blättern und vorzeitigen Absterbens von Zweigen und Ästen. Und dies Absterben von Zweigen und Ästen schreitet immer mehr fort, macht sich auch bei den Nadelhölzern bemerkbar, bis schließlich der Baum zugrunde geht. Zu diesen Erscheinungen gesellt sich bei manchen Pflanzenarten ein gelblicher Farbenton der Anhangsorgane. Die Erscheinungen einer verminderten Wachstumsenergie lassen sich befriedigend nur aus einer allmählich mehr und mehr zunehmenden Verkleinerung der Wasserzufuhr erklären, die Verfärbung der Blattorgane nur aus einer damit Hand in Hand gehenden mangelhaften Ernährung.

Eine Verminderung der Wasserzufuhr zu den oberirdischen Organen deutet aber auf eine Verkleinerung des wasseraufnehmenden Wurzelsystems hin, da die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens als konstant angesehen werden können. Die Wurzelbildung ist, wie wir gesehen haben, vom Kalkgehalt des Bodens abhängig; es muß also die Größe der Wurzeln, die Zahl ihrer Verzweigungen und eventuell auch Größe und Zahl der Wurzelhaare abnehmen, wenn sich der Kalkgehalt des Bodens vermindert.

Die die Wasseraufnahme besorgenden Wurzeln werden jährlich erneuert. Ihre Größe und ihr Umfang ist abhängig von den bei ihrer Bildung herrschenden Bodenverhältnissen. Wie bekannt, nimmt die Krone der Bäume normalerweise bis zu einem bestimmten Alter an Umfang zu; das ist nur möglich, wenn das wasseraufnehmende Wurzelsystem sich jährlich vergrößert, indem es sich in ähnlicher Weise verzweigt wie das Achsensystem des Baumes, während die Wachstumsenergie der Wurzeln, durch den Kalkgehalt bedingt, gleich bleibt. Wenn sich aber die Wachstumsenergie der Wurzeln infolge Verminderung des Kalkes im Boden verringert, so fällt das wasseraufnehmende Wurzelsystem kleiner aus; dies kann den oberirdischen Teilen nicht mehr Wasser als im vorhergehenden Jahre zuführen; diesen Verhältnissen muß sich das Wachstum der oberirdischen Teile anpassen; die Krone wird keine Zunahme gegenüber dem Vorjahre erfahren. Das Wachstum des Baumes kommt scheinbar zum Stillstand. Mit fortschreitender Entkalkung muß die Größe des wasseraufnehmenden Wurzelsystems kleiner werden als früher, und damit ist das Zurückgehen der oberirdischen Teile des Baumes in ihrer Entwicklung gegeben. Das Zurückgehen der Nadelhölzer macht sich zunächst darin bemerkbar, daß sie

vorzeitig die älteren Nadeln fallen lassen, und daß sich das Wachstum der Nadeln verringert. Später sterben Zweige und Äste ab. Bei den Laubhölzern werden die Blattflächen kleiner und ihre Zahl geringer. Hier beginnt auch eher das Absterben der Achsen. In dieser Weise muß man sich vorstellen, daß die Fichten an den Stellen abgestorben sind, wo die Versuchsflächen liegen, und so dürfte das Absterben sich in den Beständen abspielen, die noch dem Untergange verfallen sind. Die Erfahrungen über das Wachstum der Pflanzen auf den Versuchsflächen im gekalkten und ungekalkten Zustande sprechen für die Richtigkeit dieser Darlegung, ganz besonders aber die Tatsache, daß in den Anflugshorsten in der Oberförsterei Grund durch Kalkung des Bodens eine Verlängerung des Höhentriebes der Fichten zu beobachten ist. Die Vegetation ist also infolge ungenügender Wasserzufuhr zu den Bäumen zugrunde gegangen, welche auf die Entkalkung des Bodens durch die niederfallenden Säuren zurückzuführen ist, doch komplizieren sich die Verhältnisse dadurch, daß bei fortschreitender Entkalkung dem Boden durch die Belaubung, in unserem Fall durch die Nadeln Kalk entzogen wird, der dem Boden nicht wieder zurückgegeben wird. Es häufen sich die vorzeitig abfallenden Fichtennadeln zu hohen Schichten an, die vollständig unzersetzt bleiben und also auch ihren Kalk nicht an den Boden abgeben können. Es muß das auf den Boden genau so wirken, als wenn die Streu jährlich aus dem Walde herausgeschafft würde. Die Ursache für diese Erscheinung ist auch in der zunehmenden Entkalkung des Bodens begründet, worauf ich an anderer Stelle zurückkomme. In solche Streuschichten soll das Wasser nur schwer eindringen und das meiste wie auf einem Strohdach schnell abfließen[1]). Sie werden also bewirken, daß weniger Wasser zu den Wurzeln gelangt als unter normalen Verhältnissen. Hierdurch wird die Wasserversorgung der Bäume noch mehr herabgesetzt, und dies Moment muß sekundär das Absterben der Bäume beschleunigen.

Die gelbliche Färbung der Blattorgane, wie man sie vielfach an den Bäumen in Rauchschadengebieten beobachtet, deutet darauf hin, daß die Ernährung der Gewächse nicht mehr normal verläuft. Und es ist sehr möglich, daß sich mangelhafte Ernährung mit der unzureichenden Wasserversorgung zum Ruin der Bäume verbindet. Da sich die gelbliche Farbe der Anhangsorgane verliert, wenn der

[1]) H. Kautz, Schutzwald. Forst- und wasserwirtschaftliche Gedanken. Berlin, Julius Springer, 1912, S. 25.

Boden ausreichend gekalkt wird, wie die Pflanzen auf den Versuchsflächen gezeigt haben, so muß dieser Umstand auch mit der Wirkung des Kalkes auf den Boden zusammenhängen. Vermutlich handelt es sich dabei nicht um eine direkte, sondern um eine indirekte Wirkung. Man wird die gelbe Farbe wohl auf Stickstoffmangel zurückführen dürfen, ist es doch bekannt, daß auf ausreichend kalkführenden Äckern das Getreide einen viel grüneren Farbenton annimmt, wenn reichlich mit Stickstoff gedüngt ist. Umgekehrt darf man vielleicht aus dem gelben Farbenton auf Stickstoffmangel schließen. Die Wirkung des Kalkens würde dann in unserem Fall die Bedingungen für bessere Stickstoffernährung schaffen. Da diese aber von der Tätigkeit von Mikroorganismen abhängig ist, so würde die gelbliche Färbung der Blätter auf den kalkarmen Böden auf verminderte Tätigkeit der Mikroorganismen schließen lassen. Es spricht sehr viel dafür, daß es sich so verhält. Direkte Belege dafür, daß wenigstens gewisse Bakterien in den ungekalkten Böden nicht mehr ausreichende Ernährungsbedingungen finden, bieten uns die Knöllchenbakterien auf den Versuchsflächen. Niemals sind an den allerdings nur kümmerlich auf den ungekalkten Parzellen gekommenen Leguminosen Bakterienknöllchen aufgetreten, wohl aber an den Pflanzen auf den gekalkten Parzellen und zwar auf den neuen Versuchsflächen bei allen ausgesäten Leguminosen, auf der alten Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf bei einigen Arten. So konnten auf den Versuchsflächen Bakterienknöllchen festgestellt werden bei *Spartium scoparium*, *Robinia pseudacacia*, *Ulex europaeus*, *Phaseolus vulgaris*, *Lupinus luteus*, *L. perennis*, *L. angustifolius*, *Vicia villosa V. cracca*. Vielfach traten die Knöllchen nur an vereinzelten Exemplaren oder vereinzelt auf. Bei den meisten Arten waren viele Pflanzen frei von Knöllchen. Daß die Knöllchen auftraten, ist ein Beweis dafür, daß die Keime im Boden vorhanden waren; in dem kalkarmen Boden fanden sie aber nicht die Bedingungen zur Vermehrung. Es ist gewiß nicht ohne Interesse, daß in diesem alten Waldboden so sehr verschiedenartige Knöllchenbakterien vorhanden sind, Bakterien von Pflanzen, die hier niemals gewachsen sein können, doch ist das für unsere Frage von nebensächlicher Bedeutung.

Vielleicht wird man geneigt sein, den Grund für das Ausbleiben der Knöllchen auf den ungekalkten Flächen in der kümmerlichen Ausbildung der Pflanzen zu suchen, doch scheinen dagegen

Beobachtungen von Simon zu sprechen[1]). Die schlechte Entwicklung der Wurzeln von Erbsenpflanzen in mit Kupfervitriol vergiftetem Boden verhinderte nicht die Entstehung von Knöllchen. Also werden wir in unserem Falle das Ausbleiben der Knöllchen auf die ungünstigen Lebensbedingungen im Boden zurückführen müssen und nicht auf mangelhafte Wurzelentwicklung der Leguminosen. Für diese Auffassung sprechen auch Untersuchungen, die Hiltner und Störmer[2]) mit Moorboden, also gleichfalls einem sauren kalkarmen Boden, angestellt haben. Sie wollten sich über die Vermehrungsfähigkeit der Knöllchenbakterien in einem rohen bezw. frisch kultivierten Moorboden und in einem Ackerboden (Dahlem) vergleichsweise unterrichten. „Gleiche Volumina beider Böden wurden nach guter Durchfeuchtung mit gleichen Mengen einer wässerigen Aufschwemmung von Sojabakterien beimpft und mit derselben gut durchgemischt. Von dem Moorboden wurde die eine Probe kurz vor dem Versuche reichlich mit kohlensaurem Kalke versehen, während die andere unbehandelt blieb. Moorboden wie Erde blieben in Gläsern, geschützt vor starker Austrocknung, doch der Luft zugänglich, 5 Monate stehen und wurden alsdann geprüft, indem man mit fortschreitenden Verdünnungen je im sterilen Lande gezogene Sojapflanzen impfte."

Menge der Impferde		10 g	5 g	1 g	0,1 g	0,01 g	0,001 g	0,0001 g	0,00001 g
Dahlemer Erde:	a) Gesamtzahl d. Knöllchen an 10 Pflanzen	38	18	3	1	—	—	—	—
	b) Von 10 Pflanzen trugen Knöllchen .	10	8	2	1	—	—	—	—
Moorerde ohne Kalk:	a) Gesamtzahl d. Knöllchen an 10 Pflanzen	4	2	2	—	—	1	—	—
	b) Von 10 Pflanzen trugen Knöllchen .	4	2	2	—	—	1	—	—
Moorerde mit Kalk:	a) Gesamtzahl d. Knöllchen an 10 Pflanzen	78	38	39	53	12	10	—	—
	b) Von 10 Pflanzen trugen Knöllchen .	10	10	10	10	8	6	—	—

[1]) Die Widerstandsfähigkeit der Wurzelbakterien der Leguminosen und ihre Bedeutung für die Bodenimpfung. — Jahresbericht der Vereinigung für angewandte Botanik, V, 1907/8.

[2]) Studien über die Bakterienflora des Ackerbodens, mit besonderer Berücksichtigung ihres Verhaltens nach einer Behandlung mit Schwefelkohlenstoff und nach Brache. — Arbeiten aus der Biologischen Abteilung für Land- und Forstwirtschaft am Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. III, Heft 15, Berlin 1903, S. 510.

Je geringer die Menge des Impfstoffes war, um so weniger Pflanzen wurden infiziert, und ging die Menge unter eine bestimmte Grenze herunter, so fand überhaupt keine Infektion statt. Das gilt für alle drei Böden. Es entspricht der fäulnishemmenden Wirkung des Moores, daß auf dem rohen Moorboden keine Vermehrung, sondern wahrscheinlich sogar eine Abtötung der eingeimpften Bakterien stattgefunden hat. Daher sind auf diesem Boden nur wenige Pflanzen infiziert worden, und zwar nur durch große Dosen. Auf dem gekalkten Moorboden hingegen entwickelten sich die Bakterien reichlich, und es wurden bei den größeren Dosen alle Exemplare infiziert. Auch die Zahl der Knöllchen ist hier sehr groß. Der kalkarme saure Moorboden ist demnach ungeeignet für die Entwicklung der Knöllchenbakterien, weil es ihm an Kalk fehlt. Es halten sich in dem ungekalkten Boden wohl die Keime, die die Infektionen nachher hervorrufen, am Leben, aber eine ausgiebige Vermehrung ist ausgeschlossen. Der Kalkzusatz schafft erst die Bedingungen für die Entwicklung. Da mit diesem Moorboden der saure entkalkte Waldboden in seiner Wirkung ohne weiteres verglichen werden kann, so dürfen wir aus den Versuchen von Simon und Hiltner schließen, daß auch in unseren Böden das Ausbleiben der Infektionen auf den ungekalkten Parzellen einer mangelnden Entwicklung der Knöllchenbakterien in diesem Substrate zuzuschreiben ist. Die Infektionen auf den gekalkten Parzellen müssen einer reichlicheren Entwicklung von Bakterien im Boden zugeschrieben werden. Auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf waren wahrscheinlich infolge der Entkalkung des Bodens die Knöllchenbakterien größtenteils abgestorben, denn an *Phaseolus vulgaris* traten selbst auf gekalktem Boden ohne Impfung keine Knöllchen auf, während sie auf den drei neuen Versuchsflächen im Einersberge auf allen gekalkten Parzellen nachweisbar waren.

Daß mit steigendem Kalkgehalt des Bodens die Zahl der Knöllchen zunahm, habe ich durch einen Versuch bestätigt gefunden. Folgende sechs Waldböden wurden mit Erbsen besät und lieferten hinsichtlich der Bildung von Knöllchen folgendes Ergebnis:

1. 0,021% CaO 10 Exempl. Die Pflanzen meistens sehr kümmerlich, einige bis 15 cm hoch, nur an diesen vereinzelte Knöllchen.
2. 0,024 „ „ 12 „ Die Pflanzen meistens klein. Knöllchen an einzelnen Exemplaren, aber wenig zahlreich.

3.	0,033 %	CaO	11 Exempl.	Die meisten Pflanzen kümmerlich, einige etwas größer, nur diese mit Knöllchen.
4.	0,040 „	„	23 „	Die Pflanzen größer als bei 3 und 5. An allen Exemplaren Knöllchen.
5.	0,042 „	„	14 „	Meistens mit Knöllchen.
6.	0,056 „	„	25 „	Die Pflanzen erheblich größer als in den anderen Böden. Überall Knöllchen.

Gleichzeitig mit diesen Aussaaten waren auch Aussaaten von Erbsen in denselben Böden mit Kalkzusatz gemacht worden. Mit Ausnahme von 6 hatte dieser Zusatz ein bedeutend besseres Wachstum der Erbsen bewirkt. An jedem Exemplar waren reichlich Knöllchen aufgetreten. Die Zahl der Pflanzen schwankte auf den verschiedenen Böden zwischen 16 und 24. Auch hieraus geht hervor, daß die Bedingungen für das Auftreten der Knöllchenbakterien um so günstiger sind, je reicher die Böden an Kalk sind. Allerdings könnte das auch mit einer größeren Infektionsmöglichkeit durch die kräftiger entwickelten Pflanzen zusammenhängen.

Für den Waldboden dürften in bezug auf die Stickstoffanreicherung die Knöllchenbakterien eine untergeordnete oder gar keine Rolle spielen; für ihn sind in erster Linie die Salpetersäure bildenden und die Stickstoff bindenden Bakterien wichtig. Wenn ich trotzdem länger bei ihnen verweilte, so geschah das mit Rücksicht auf ihre symptomatische Bedeutung. Aus dem Verhalten der Knöllchenbakterien läßt sich schließen, daß alle Bakterien, die im Boden einen gewissen Kalkgehalt als Lebensbedingung voraussetzen, sei es, daß sie den Kalk zu ihrer Entwicklung oder zur Bindung von Säuren benötigen, die sie in ihren Lebensprozessen ausscheiden, und die ihnen selbst den Untergang bereiten würden, wenn sie nicht neutralisiert würden, in diesem sauren Boden in ihrer Entwicklung beeinträchtigt sind. Mustert man die Literatur daraufhin durch, so stellt sich heraus, daß alle für uns in Betracht kommenden Bakterien ein großes Kalkbedürfnis haben.

Winogradsky setzte der Nährlösung, in welcher er *Clostridium Pastorianum* kultivierte, Kreide zu[1]). Nicht minder benötigt der stickstoffbindende Azotobacter chroococcum Beyerinck nach den Untersuchungen von Gerlach und Vogel[2]) des Kalks, und

[1]) A. Koch, Die Bindung von freiem Stickstoff durch frei lebende niedere Organismen. — Lafar, Handbuch der Technischen Mykologie, Bd. 3, 1904—1906.

[2]) Bakt. Zentralblatt, II. Abt., Bd. 10, 1903, S. 636.

H. Fischer konnte ihn nur aus solchen Bodenparzellen züchten, die mit Kalk oder kalkhaltigen Materialien gedüngt worden waren[1]).

Auch die Nitratbakterien, die in Verbindung mit den Nitritbakterien die Überführung des Ammoniaks in Salpetersäure besorgen, sind an die Gegenwart von kohlensauren Basen gebunden, als welche wohl in den meisten Eällen der Kalk in Frage kommt. Können sich diese Bakterien wegen Kalkmangels nicht entwickeln, so unterbleibt die Bildung von Salpetersäure, selbst wenn die Bedingungen für Bildung von Ammoniak gegeben sein sollten[2]).

Falls sich im Boden die Stickstoff assimilierenden Bakterien und die Nitratbakterien des Kalkmangels wegen nicht entwickeln, muß eine ungenügende Ernährung der Pflanzen mit Stickstoff eintreten; und wir gehen wohl nicht fehl, wenn wir die gelbliche Farbe, die vielfach Nadeln und Blätter in Rauchschadengebieten besitzen, auf unzureichende Stickstoffversorgung von seiten des Bodens zurückführen. Ein Teil der Versuchspflanzen zeigte diesen gelblichen Farbenton sogar noch auf der gekalkten Parzelle; es ist hier vermutlich die Entwicklung der entsprechenden Bakterien nicht schnell oder ausgiebig genug vor sich gegangen. Eine Untersuchung der Stickstoffverhältnisse der rauchbeschädigten Böden habe ich bisher nicht vorgenommen. Dahingegen habe ich in einer Bodenprobe von der ungekalkten Parzelle der ersten Grunder Versuchsfläche die Gegenwart von Ammoniak feststellen können. Ein Zusatz von Neßlers Reagenz zu einem wässerigen Auszuge des Bodens gab eine intensive gelbe Färbung. Der Prozeß der Ammoniakbildung hat demnach im Boden nicht geruht. Allerdings will ich nicht unerwähnt lassen, daß die Bodenprobe vor der Untersuchung längere Zeit im Institut zugebracht hatte, so daß die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, daß sie etwas Ammoniak aus der Luft aufgenommen hatte.

An die Gegenwart des Kalks sind aber nicht nur die Salpetersäure bildenden und die Stickstoff assimilierenden Bakterien gebunden, sondern auch andere an der Zersetzung der Streu beteiligte Formen, so die Bakterien, die die Mittellamellen zerstören, und

---

[1]) Bakt. Zentralblatt, II. Abt., Bd. 14, S. 33, Bd. 15, S. 235. Die Notwendigkeit des Kalkes für Azotobakter geht auch aus der Arbeit von G. Rösing, Zusammenfassung der Ergebnisse von Untersuchungen über die Stickstoffsammlung von Azotobacter chroococcum, Bakt. Zentralblatt 11, Bd. 33, 1912, Nr. 25, hervor.

[2]) Winogradsky, Die Nitrifikation. — Lafar, Handbuch der Technischen Mykologie, Bd. 3, S. 173.

die Bakterien, die die Zellhäute zersetzen[1]). Diese Prozesse müssen unterbleiben, wenn die Bakterien wegen Kalkmangels ihre Tätigkeit einstellen. Bei Kalkmangel wird die Streu schließlich gar nicht zersetzt werden, nachdem die Zersetzung vorher ein immer langsameres Tempo eingeschlagen hatte. So erklärt sich meiner Ansicht nach die Anhäufung der unzersetzten Fichtennadeln im Claustaler Rauchschadengebiet. Nach der landläufigen Ansicht soll diese Anhäufung sich aus dem vorzeitigen Nadelfall der rauchbeschädigten Fichten erklären. Ein solcher Nadelfall könnte wohl vorübergehend eine Anhäufung bewirken, sie müßte sich aber im Laufe der Zeit verlieren, da die Zersetzung fortschreitet und der Zuwachs an Streu verhältnismäßig gering ist. Gelegentlich beobachtet man auch in rauchbeschädigten Laubwäldern eine derartige Anhäufung von unzersetzter Streu. Übrigens handelt es sich in diesen beiden Fällen nur um krasse Fälle einer ganz allgemeinen Erscheinung. In sauren Böden vollziehen sich die Zersetzungserscheinungen viel langsamer als in einem durch reichen Kalkgehalt neutralen oder alkalischen Boden, wie die Kalkböden lehren, die in Mitteleuropa deshalb zu den „zehrenden“ Böden gerechnet werden[2]). Es gibt auch ganz „untätige“ Böden infolge ihres geringen Kalkgehaltes. Durch den Kalkmangel leiden nicht nur die namhaft gemachten Bakterien, sondern schließlich alle, da sie sich gegenseitig beeinflussen und voneinander abhängig sind.

So wünschenswert es gewesen wäre, die Böden der Versuchsflächen bakteriologisch zu untersuchen, so mußte ich doch mit Rücksicht auf die mangelnde Zeit darauf verzichten; ich habe nur einige wenige Versuche zu meiner eigenen Orientierung unternommen. So wurde der Boden der ungekalkten Parzellen von den neuen Versuchsflächen 1 und 2 im Einersberge und von der 1. Grunder Versuchsfläche mit und ohne Kalkzusatz untersucht. Leider konnte ich keine frischen Böden untersuchen, sondern mußte mich mit Böden begnügen, die lange im Institut zugebracht hatten. Doch glaube ich darauf nicht großes Gewicht legen zu

[1]) Lafar, Handbuch der Technischen Mykologie, 3. Bd., 1904—1906, Kapitel 9 und 10.

[2]) Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl., 1911, S. 556. — Vergl. auch Wilh. Thaer, Der Einfluß von Kalk und Humus auf die mechanische, physikalische und chemische Beschaffenheit von Ton-, Lehm- und Sandboden. Gekrönte Preisschrift, Göttingen 1910. Die Abhandlung ist mir nur aus dem Ref. im Bakt. Zentralblatt, 1911, Bd. 32, bekannt.

sollen, da es mir nicht darauf ankam, die Zahl der Keime zu bestimmen, sondern nur zu entscheiden, ob Keime zugegen waren, und ob sie nur bei Kalkzusatz wirksam wurden. Schon früher hatte mir eine ähnliche Untersuchung mit einem Boden aus einer anderen Gegend, der gleichfalls längere Zeit vor der Untersuchung im Institut gelegen hatte, gezeigt, daß dieser Umstand nicht wesentlich störte. Von den Böden wurden gleiche Gewichtsmengen in Erlenmeyersche Kölbchen gebracht und mit gleichen Mengen einer etwa 10%igen Traubenzuckerlösung versetzt. Die Hälfte der Kölbchen blieb ohne Kalkzusatz, die andere erhielt soviel Kreide zugesetzt, daß der Boden dadurch einen Kalkgehalt von 1% bekam. Die Kölbchen standen mehrere Wochen im Thermostaten etwa bei 25° C und wurden von Zeit zu Zeit mikroskopisch untersucht. Das Ergebnis war folgendes.

1. Boden von der 1. neuen Versuchsfläche im Einersberge.	Hauptsächlich *Mucor racemosus* und *mucedo*. Sporangien bei beiden sehr gut entwickelt. Wenig *Penicillium glaucum*. *Stemphylium domesticum (Fungi imperfecti).*
2. Dasselbe mit Kalk.	Hauptsächlich *Penicillium*. Daneben *Mucor racemosus.*
3. Boden von der 2. neuen Versuchsfläche im Einersberge.	*Penicillium glaucum*, nicht über die ganze Oberfläche der Flüssigkeit verbreitet.
4. Dasselbe mit Kalk.	Hauptsächlich *Mucor racemosus*, keine Sporangien, wohl aber *Chlamidosporen* in Masse. *Penicillium glaucum*. Hefe.
5. Boden von der 1. Grunder Versuchsfläche.	*Penicillium glaucum* und *Mucor racemosus*, ungefähr in gleicher Menge.
6. Dasselbe mit Kalk.	Hauptsächlich *Penicillium glaucum*, *Mucor racemosus*. Gasentwicklung durch Bakterien, die in reicher Menge vorhanden waren, aber nicht bestimmt wurden[1]).

[1]) Die vorstehenden Bestimmungen hatte Herr Lector Brussow, der sich in meinem Institut mit bakteriologischen Studien beschäftigt, die Freundlichkeit auszuführen, wofür ich ihm an dieser Stelle verbindlichst danke.

Hieraus geht hervor, daß Bakterien, welche sich in der gebotenen Nährlösung entwickeln können, nur im dritten Boden, dem von der Grunder Versuchsfläche stammenden, vorhanden waren; in den anderen Böden waren alle diese Bakterienkeime vernichtet worden. Aber auch im Boden von der Grunder Versuchsfläche entwickelten sich die Bakterien nicht, wenn ihnen nicht Kalk zugesetzt wurde. Wir haben hierin also eine weitere Stütze für unsere Ansicht, daß durch die starke Entkalkung des Bodens das Bakterienleben latent wird, wenn es nicht gar ganz abstirbt. Da die Pilze an den Kalk geringere Anforderungen als die Bakterien stellen, haben sie sich auch in den ungekalkten Böden entwickeln können, wenn auch, wenigstens die vegetative Entwicklung, bei Kalkzusatz ausgiebiger gewesen ist. Die Pilze gehören mit Ausnahme von *Stemphylium* den gemeinsten Pilzgattungen, *Penicillium* und *Mucor*, an.

Die enge Beziehung zwischen Gärkraft und Kalkgehalt des Bodens tritt auch in einer Untersuchung von Albert und Luther über vier Waldböden hervor[1]). Die Böden waren reine diluviale Sandböden von mindestens 1,5 m Mächtigkeit.

Nr.	Kalkgehalt		Entbundene Gasmenge
	0—10 cm	30—50 cm Tiefe	mg
1	0,084 %	0,092 %	180
2	0,056 „	0,073 „	192
3	0,038 „	0,070 „	132
4	0,020 „	0,028 „	46

Hiermit steht in voller Übereinstimmung die Fäulniskraft und das Salpeterbildungsvermögen.

Nr.	Abgespaltener NH_3-Stickstoff mg	Salpeter-stickstoff mg
1	8,56	1,85
2	7,70	4,29
3	6,02	1,62
4	3,38	—

Im vierten Boden ist gar kein Salpeterstickstoff gebildet worden; die Nitratbakterien sind also untätig gewesen oder haben ganz gefehlt. Gärkraft und Fäulniskraft ist beim vierten Boden

[1]) Biologisch-chemische Studien in Waldböden. — Journal für Landwirtschaft, 1908.

sehr viel geringer gewesen als bei den anderen Böden. Aus allen Daten erkennt man, daß der vierte Boden sehr viel untätigerer ist als die anderen. Er ist, nach der Reaktion mit Lakmuspapier zu urteilen, stark sauer und mit einer 10 cm mächtigen Trockentorfschicht bedeckt gewesen.

Da auch die Böden der Harzer Versuchsflächen sehr sauer und sehr kalkarm sind, so dürfen wir auf Grund dieser Ergebnisse als sicher annehmen, daß auch in ihnen die Salpetersäurebildung ausgesetzt hatte und dürfen schließen, daß die absterbenden Bäume auch Mangel an assimilierbarem Stickstoff gelitten haben. So werden wir als Folge der Entkalkung der Böden eine mit der Zeit immer mehr anwachsende Verminderung der Wasser- und der Stickstoffzufuhr zu den Bäumen betrachten müssen, und die damit in Verbindung stehende Verkleinerung der Wurzelsysteme führt allmählich zur Vernichtung der Bäume.

Wo in den Rauchschadengebieten ähnliche Verhältnisse vorliegen wie in dem Claustaler, da werden wir berechtigt sein, die Vernichtung der Vegetation auf die gleichen Ursachen wie in diesem zurückzuführen.

II. Das Verhalten der Böden in anderen Rauchschadengebieten.

Eingehende Untersuchungen der Bodenverhältnisse in anderen Rauchschadengebieten, sei es mit der chemischen Analyse, sei es es durch den Anbauversuch, liegen nicht vor. Man kann aber sehr wohl auf Grund der Erfahrungen im Claustaler Rauchschadengebiet aus der Vegetation, welche die Böden bedeckt, und aus dem Aussehen der Bäume unter Würdigung aller Umstände einen Schluß darauf machen, ob auch hier die Zerstörung der Wälder durch die Entkalkung des Bodens hervorgerufen wird. Es wird dann Aufgabe späterer Untersuchungen sein, die Richtigkeit des Behaupteten zu erweisen.

Mit Sicherheit kann darauf gerechnet werden, daß in den größeren Rauchschadengebieten wie bei Altenau und bei Goslar im Harz, bei Kattowitz-Myslowitz in Oberschlesien, im Eschweilerer und im Probstey-Wald bei Stolberg i. Rh. die Entkalkung des Bodens eine große Rolle gespielt hat und spielt. Es muß zunächst beachtet werden, daß es sich in allen diesen Gebieten um an sich verhältnismäßig kalkarme Böden handelt. Mit Ausnahme der Rauchschadengebiete bei Stolberg sind die erwähnten eingehend

von Haselhoff und Lindau beschrieben, so daß ich sie als bekannt voraussetzen kann.

Das Altenauer Rauchschadengebiet im Okertal bietet sehr viel Ähnlichkeit mit dem Claustaler in bezug auf die Konfiguration des Tales und der Lage der Hütte zu diesem und der Himmelsrichtung. Infolgedessen wiederholen sich auch dieselben Erscheinungen im Auftreten und Verschwinden der Vegetation, nur daß die Schäden keinen so großen Umfang angenommen haben wie bei der Frankenscharrnhütte. Die Kämme der Berge sind mit Fichten bewachsen, an diese schließen sich auf den Abhängen meistens zusammenhängende Grasflächen wenigstens talabwärts der Hütte an. Hier und da tritt dazwischen etwas Heide auf, doch ist diese weniger verbreitet als im Innerstetal. Die tieferen und steileren Teile der Abhänge, namentlich in der Nähe der Hütte, zum Teil aber auch in größerer Entfernung, sind vegetationslos geworden und zeigen die gleichen Furchen und Rinnsale, wie sie beim Innerstetal geschildert wurden (S. 10). Besonders deutlich sind diese Zerstörungen am Schwarzenberg zu sehen. Die sich an die vegetationslosen Stellen anschließenden Grasflächen sind mit sehr kurzen und schwach entwickelten Grasbüscheln bestanden, deren Beschaffenheit augenscheinlich auf die Bodenbeschaffenheit und nicht auf die weidenden Kühe zurückzuführen ist. An einem hinter der ehemaligen Eisenhütte abwärts an der Oker gelegenen Abhang stehen noch Überreste eines Kiefernbestandes. Die Grasvegetation ist, soweit es sich von der gegenüberliegenden Seite erkennen läßt, ganz verschwunden. Auf dem südlich von und hinter der Hütte gelegenen Rotenberg ist die Beschädigung durchschnittlich stärker; auch tritt hier neben Gras das Heidekraut stärker hervor. Nach den Erfahrungen im Claustaler Rauchschadengebiet muß behauptet werden, daß alle diese vegetationslos gewordenen oder mit Heide oder mit Gras bestandenen Böden so stark des Kalkes beraubt worden sind, daß Fichten nicht mehr wachsen können, und daß darin der Grund ihres Absterbens zu suchen ist. Das sich an den Abhängen nur die Kiefern gehalten haben, erklärt sich aus ihren geringeren Ansprüchen an Kalk nnd ihrem tiefer in den Boden eindringenden Wurzelsystem; es stehen ja auch im Innerstetal auf einigen in dasselbe vorspringenden Rücken noch Kiefern, während die Fichten verschwunden sind. Der Rotenberg trägt oben auf seinem Rücken eine junge Pflanzung von Krummholzkiefern. Mit wenigen Ausnahmen stehen alle Exemplare

schlecht; ihr Zuwachs ist unbedeutend, die Nadeln sind klein und gelblich, doch kommen auf kleinen Entfernungen nicht unbedeutende Unterschiede vor. Am schlechtesten stehen die Krummholzkiefern dort, wo nicht einmal Heidekraut vorhanden ist. Wo neben Heidekraut Gras wächst, oder wo es vorherrscht, ist der Wuchs viel besser und sind die Nadeln normal grün. Das Aussehen der Krummholzkiefern läßt auf Kalkmangel schließen. Da die Hütte in Altenau geschlossen ist, die Rauchschäden also aufhören, so darf erwartet werden, daß man die Abhänge wieder aufzuforsten versuchen wird; doch wird das voraussichtlich erfolglos sein, wenn man nicht den Boden vorher kalkt. Es empfiehlt sich, bevor man an eine Aufforstung herantritt, Versuche über die Bodenverhältnisse anzustellen. Daß unter Zusatz von Kalk zum Boden auch hier eine Aufforstung möglich ist, geht daraus hervor, daß in der Nähe der Hütte sowohl aufwärts wie abwärts im Sommer 1911 Kartoffelfelder vorhanden waren, auf denen trotz der großen Trockenheit die Kartoffelpflanzen sehr gut standen. Vermutlich sind diese Felder entsprechend gedüngt worden.

Das Rauchschadengebiet bei Goslar umgibt die Herzog Juliushütte als Rauchquelle. Südöstlich von ihr liegt der Nordberg, und hier wiederholt sich auf engerem Gebiete, was in den beiden Rauchschadengebieten des Oberharzes beobachtet wurde. In der Nähe der Hütte ist eine Rauchblöße, von ihr allmählicher Übergang zur Baumvegetation mit anfänglich kleinen kümmerlichen, vereinzelt stehenden Bäumen, dann mit zunehmender Entfernung besseres Wachstum der Bäume und stärkerer Schluß des Bestandes, bis sich schließlich in entsprechender Entfernung die Rauchschäden ganz verlieren. Die Rauchblöße ist mit Heidekraut und Gras bewachsen. Das beschädigte Gebiet erstreckt sich nach Norden, die Bahn überschreitend, über den hier liegenden niedrigen Gebirgszug, die Haar. Auch dieser Rücken, der wohl niemals sehr fruchtbar gewesen ist, ist stark beschädigt. Soweit heute noch Vegetation vorhanden ist, handelt es sich um Gras und Heide, doch kommen auch kahle Partien vor. „Tiefe Regenrinnen durchziehen an solchen Stellen den jedes Pflanzenwuchses beraubten Boden." (Haselhoff und Lindau S. 148.) Unzweifelhaft ist auch hier die Verteilung und die Art der Vegetation durch die Kalkverhältnisse bedingt. Durch regelmäßige Bearbeitung und entsprechende Kalkung des Bodens würde man die kahlen und die mit Gras und Heide bewachsenen Stellen wieder in Weide oder anderes Kulturland ver-

wandeln können. Die vor dem geschlossenen Bestande am Nordberg stehenden Kiefern, Krummholzkiefern und anderen Holzgewächse, die teils Überbleibsel des Waldes, größtenteils aber vor längerer Zeit frisch gepflanzt worden sind, sind kümmerlich. Die Höhe der Bäume ist gering, sie gehen vielfach in die Breite. Auch das Aussehen und die Verteilung der Nadeln und Blätter an den Zweigen und Ästen weist auf schlechte Ernährungsverhältnisse hin. Alle hier zu beobachtenden Erscheinungen lassen sich aus einer Entkalkung des Bodens erklären, deuten aber nicht auf eine direkte Beschädigung der oberirdischen Pflanzenteile durch den Hüttenrauch hin. Die Förderung des Wachstums einiger vor kurzem gepflanzter Laubhölzer durch Kalkung des Bodens scheint dieser Auffassung Recht zu geben.

Auch bei der Hütte in Oker hat sich in ihrer Nähe nach dem Gebirgsrand hin eine Rauchblöße, die mit Gras und Heide bewachsen ist, gebildet. Sicher gilt für diese dasselbe, was für die bisher besprochenen Rauchschadengebiete teils festgestellt, teils vermutet wurde. Da in unmittelbarer Nähe ein Kalkwerk mit Kalkofen liegt, könnte hier ohne große Kosten leicht ein Versuch ausgeführt werden, ob der Boden in der Tat an Kalk Mangel leidet.

Im Rauchschadengebiet Kattowitz-Myslowitz wiederholen sich die gleichen Erscheinungen wie in den Harzer Rauchschadengebieten: die absterbenden Bestände, das Vorhandensein einzelner kümmerlicher Bäume, Grasflächen und Partien mit Heidekraut. Dies Gebiet ist aus der Darstellung von C. Reuß aus dem Jahre 1893[1]) näher bekannt geworden. 1901 haben Haselhoff und Lindau es bereist. In dem Zeitraum von 10 Jahren hat sich mancherlei verändert. So hatte Reuß den Weg von der Kunigundenhütte nach Amandagrube noch mit Wald bestanden gesehen, wo Haselhoff und Lindau nur noch kümmerliche Kiefern von Mannshöhe vorfanden. Allerdings stand der Wald damals schon sehr schlecht und Reuß stellte Zuwachsverluste von 79—97 % fest. Diesem Walde war 1901 Heide und Gras gefolgt und nur am Waldrande fanden sich die erwähnten kümmerlichen Kiefern. Dies Beispiel zeigt ganz besonders deutlich, daß der Wald durch die Bodenverschlechterung zugrunde gegangen ist, denn sonst würde sich nach dem Verschwinden der Kiefern spontan eine an-

[1]) C. Reuß, Rauchbeschädigung in dem von Tiele-Winckler'schen Forstrevier Myslowitz-Kattowitz. Goslar 1893.

spruchsvollere Flora angesiedelt haben als Gras und Heide. Auch das Kümmern der 1901 noch vorhandenen Kiefern kann sich nicht aus einer direkten Einwirkung des Hüttenrauches erklären, sondern ausschließlich aus einer Verarmung des Bodens, in der Hauptsache durch Entkalkung. Immerhin wäre es sehr wünschenswert, wenn auch hier durch den Versuch geprüft würde, ob unsere Vermutung einer sehr weitgehenden Entkalkung zutrifft. Meiner Ansicht nach kann man mit Sicherheit darauf rechnen, daß man, wenn man diese alten Waldböden in Ackerland verwandelte und vor allen Dingen entsprechend kalkte, imstande sein würde, Nutzpflanzen auf ihnen zu ziehen. Ich werde in dieser Auffassung durch eine Beobachtung bestärkt, die Haselhoff und Lindau auf der Fahrt vom Südpark nach der Kunigundenhütte gemacht haben. Sie passierten ein Roggenfeld, auf dem ihnen die ungleichmäßige Ausbildung der Pflanzen auffiel. „Nicht bloß die Länge der Halme wechselte außerordentlich, auch die Länge der Ähren war sehr verschieden; Unterschiede von 1 : 4 waren nicht selten. Dazu war der Kornansatz sehr ungleichmäßig.“ Eine Verfärbung der Blätter oder Flecken an denselben waren nicht zu beobachten, dennoch vermuten unsere Autoren, daß die geschilderten Wachstumserscheinungen die Wirkung der sauren Gase auf die Pflanzen selbst sind. Jedenfalls handelt es sich auch hier um Ernährungsstörungen, die vom Boden ausgehen und vermutlich in letzter Linie ihre Ursache in der Entkalkung haben.

Die Verhältnisse des Stadtwaldes von Eschweiler i. Rh. sind zuerst vom Oberförster Oster in Aachen im Jahre 1887[1]) beschrieben worden, später habe ich die Verhältnisse eingehender dargestellt[2]). Aus den der Veröffentlichung beigegebenen Abbildungen ist ersichtlich, wie eigenartig sich die Eichen in der Nähe der Hütte ausgebildet haben, während ringsherum alle Vegetation verschwunden ist. Mit wachsender Entfernung von der Hütte nehmen die Bäume an Höhe zu und die Flächen zwischen ihnen sind wieder mit Gras bedeckt. Heute nach 8 Jahren ist die Zerstörung dieses Waldes noch ein erhebliches Stück weiter vorgeschritten. Wir haben hier Rauchblößen, die teils ganz kahl, teils mit mehr oder weniger Gras bedeckt sind, während Heide fehlt; dazwischen kümmerliche Eichen, vereinzelte *Ilex* und Buchen.

[1]) Anhang zu [2]).

[2]) A. Wieler, Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen. Berlin 1905. Kap. 5.

Mit wachsender Entfernung von der Hütte treten die Bäume dichter zusammen und unter sie mischen sich auch Birken. Teilweise sind die Verhältnisse ganz ähnlich wie bei der Frankenscharrnhütte, und deshalb ist auch anzunehmen, daß hier eine Entkalkung des Bodens vorliegt, was schon darum sehr wahrscheinlich ist, weil wir es mit einem kalkarmen Gestein zu tun haben, dem Kohlensandstein. Trotz meiner im Jahre 1905 gegebenen Anregung hat man leider bisher noch nicht den Versuch gemacht, zu prüfen, ob meine Ansicht von der Entkalkung des Bodens im Walde von Eschweiler richtig ist, so daß die Verwüstung des Waldes ununterbrochen fortschreitet und sich immer weiter ausdehnt, obgleich wahrscheinlich das ganze Gebiet der Kultur wieder zugängig gemacht werden könnte, wenn man mit entsprechenden Düngungsmaßregeln vorginge.

Bei dem nördlich von Stolberg i. Rh. gelegenen Probstey-Walde liegen wahrscheinlich die Verhältnisse ähnlich, nur daß es nicht so deutlich hervortritt wie im Stadtwalde von Eschweiler[1]). Augenblicklich ist man damit beschäftigt, den südlichen, Stolberg zugekehrten Teil, die „Kleine Probstey" aufzuforsten, nachdem vor einigen Jahren der aus Buchen und Eichen bestehende und durch Hüttenrauch zerstörte Hochwald abgeschlagen worden war. Die Anpflanzungen sind noch nicht weit genug vorgeschritten und noch nicht alt genug, um ein sicheres Urteil zu gestatten, wie die Bäume hier wachsen werden, und für welche Holzarten der Boden noch geeignet ist. Was beispielsweise von Fichten zu sehen ist, deutet darauf hin, daß die Entkalkung des Bodens doch weit vorgeschritten sein muß. Es läge sicher im Interesse der Waldbesitzerin, wenn sie durch Aussaaten, eventuell unter Zusatz von Kalk zum Boden vor der Bepflanzung prüfte, welche Holzarten hier zu ziehen sind, und es wäre ein derartiger Versuch, dessen Kosten für einen Waldbesitzer verschwindend sind, von der allergrößten Bedeutung, um einen zuverlässigen Einblick in die Zerstörungsweise des Waldes in diesem Rauchschadengebiete zu gewinnen.

Auch in anderen von Haselhoff und Lindau näher beschriebenen Fällen spielt die Entkalkung des Bodens bei der Zerstörung der Vegetation sicher eine große, wenn nicht die

[1]) Die Lage ist ersichtlich aus der Karte auf S. 19 des auf S. 133 in Note 2 aufgeführten Werkes.

ausschlaggebende Rolle; ich verweise z. B. auf die Verhältnisse des Burgberges bei Lethmathe, an dessen Fuß eine Zinkhütte liegt. „Langsam, aber unaufhaltsam", schreiben Haselhoff und Lindau, „schreitet die Toträucherung der Vegetation vorwärts. Bald wird auch der Stockausschlag (Eiche) abgetötet sein, und dann wird Gras und Heide den Boden bedecken. An dem sich nach der Hütte hinabsenkenden Hang ist es bereits zur Grashaldenbildung gekommen; ja noch mehr, an einzelnen Stellen ist auch die Grasnarbe bereits tot. Schreitet die Abtötung weiter fort, so wäscht mit zunehmender Kahlheit des Hanges der Regen allmählich den Humus hinab" (S. 180). Es unterliegt keinem Zweifel, daß wir in allen diesen Erscheinungen die Wirkung der fortschreitenden Entkalkung des Bodens zu sehen haben, und wenn auch die Schäden in den letzten 10 Jahren Fortschritte gemacht haben, so glaube ich, kann man dennoch der drohenden Vernichtung durch Kalkung des Bodens entgegenwirken.

In allen hier besprochenen Rauchschadengebieten kehren die gleichen Erscheinungen wieder wie im Claustaler Rauchschadengebiet; wir werden deshalb auch berechtigt sein, überall die gleiche Ursache für die gleichen Erscheinungen anzunehmen, und zwar die Entkalkung des Bodens, die sich für das Claustaler Rauchschadengebiet nachweisen ließ. Mit durch Entkalkung des Bodens hervorgerufenen Zerstörungserscheinungen der Vegetation wird man also in jedem größeren Rauchschadengebiet, wo saure Gase einwirken, rechnen müssen.

Die Entkalkung des Bodens braucht aber nicht nur bei der Zerstörung der Wälder eine Rolle zu spielen, sondern kann auch bei Feldfrüchten in Betracht kommen. Die Klagen über Mißwachs sind vielfach nicht auf eine direkte Einwirkung der sauren Gase auf die Gewächse zurückzuführen, sondern auf einen Bodeneinfluß. So erwähnen Haselhoff und Lindau (S. 184) aus der Nähe der Dortmunder Zinkhütte im Jahre 1901 einen sehr interessanten Fall über mangelhaftes Wachstum von Gerstenpflanzen, das sicher auf Entkalkung des Bodens zurückzuführen ist. In einem Gerstenfelde fielen große kahle Flecken auf, „an denen entweder keine oder nur noch etwa handhohe Gerstenpflänzchen standen. Die niedrigen, normal grün aussehenden Pflanzen stachen von den gesunden, vielleicht fünfmal höheren, sehr scharf ab". Es handelte sich also um ein vermindertes Wachstum auf einem beschränkten Bezirk des Feldes, ohne daß an den Pflanzen irgend welche Rauch-

schäden zu sehen waren. Schon früher, im Jahre 1897, hatte Haselhoff beobachtet, daß in einem nördlich der Zinkhütte gelegenen Roggenfeld ein teilweiser lückenhafter Stand der Pflanzen vorhanden war (S. 183). Die Angaben über Mißwachs in der Umgebung dieser Hütte reichen aber noch weiter zurück. 1886 stellte v. Schroeder (zitiert bei Haselhoff und Lindau S. 336) fest, daß sich im Umkreis der Zinkhütte Stellen fanden, die Jahr für Jahr Mißwachs zeigten. Man schob diesen Mißwachs auf Zink, das als Flugstaub dahingelangen sollte. Entsprechende Versuche v. Schroeders zeigten, daß hierin nicht, wohl aber in Nährstoffmangel die Ursache zu suchen war. Vermutlich handelte es sich schon damals um Kalkmangel, was augenscheinlich aber nicht geprüft worden ist. Natürlich ist es sehr überraschend, daß einzelne Partien in Feldern stärker durch die Säure entkalkt werden als andere, doch geben vielleicht die Beobachtungen von Haselhoff den Schlüssel für diese Erscheinung. 1901 beobachtete er in einem Haferfeld in der Nähe der Dortmunder Zinkhütte „höchst eigentümlich aussehende Schadenzonen. Schon von weitem fiel auf, daß sich in dem grünen Felde lange scharf begrenzte Zonen, an diese anschließend große kreisrunde Flecken, endlich auch isolierte Stellen fanden, wo die Pflanzen ein gelbes Aussehen hatten. Bei näherer Untersuchung war dann leicht zu sehen, daß Rauchschaden vorlag“ (S. 183). „Die Zeichnung auf dem Felde war so scharf, daß man geneigt sein konnte, auf die Form der Rauchwolken zu schließen, die auf den Pflanzen gelagert hatten“ (S. 184). Handelte es sich in diesem Falle auch um akute Schäden, so könnte man sich doch vorstellen, wenn derartige Windbewegungen sich häufiger wiederholen, einzelne Stellen des Feldes besonders häufig von den sauren Gasen getroffen werden, hier eine Entkalkung des Bodens bereits bemerkbar wird, während an den übrigen Stellen des Feldes davon nichts zu spüren ist. Natürlich läßt sich die Erscheinung auch aus einem ursprünglich ungleich hohen Kalkgehalt verschiedener Teile des Feldes erklären. Zu letzterer Erklärung nahm ich meine Zuflucht bei einem ähnlichen Falle in einem anderen Rauchschadengebiete.

Es handelte sich um Weizenfelder, die unter der Einwirkung einer Hütte standen. Wie aus der folgenden Abbildung ersichtlich, fanden sich in den Feldern — die Besichtigung fand in der zweiten Hälfte August statt — ziemlich ausgedehnte Stellen, auf denen ganz kurze, knapp einen Fuß hohe Pflanzen standen, während sonst

das Feld Weizenpflanzen von normaler Höhe trug. Die Bestockung war bedeutend geringer bei den kleinen Exemplaren, deshalb treten sie und die Pflanzenreihen auch so deutlich auf der Abbildung hervor (Abb. 40). Die Pflanzen machten einen verzwergten, im übrigen normalen Eindruck. Ebenso wie der Halm abnorm kurz, war auch die Ähre abnorm klein. Irgend welche Rauchbeschädigungen waren an den Pflanzen nicht vorhanden. Die Weizenfelder waren in der Richtung auf die Hütte zu durch ein Gelände getrennt, auf dem von früheren Aussaaten her Luzernepflanzen standen; diese zeigten starke akute Schäden, ein Beweis, daß die Säure in ziemlicher Konzentration auf diese Felder gelangte. Das Aussehen der verzwergten

Abb. 40.
Rauchblöße in einem Weizenfelde.

Weizenpflanzen deutete auf Mangel an einem Nährstoff, vermutlich an Kalk, hin, und diese Voraussetzung wurde unterstützt durch Analysen aus dem Vorjahr, die, wenn auch nicht gerade von diesen Böden ausgeführt, sondern von Böden aus benachbarten Flächen, deren Pflanzenwachstum auch nicht normal war, einen geringeren Kalkgehalt als die Böden der guten Weizenfelder aufwiesen. Um die Richtigkeit meiner Annahme zu prüfen, wurden in Aachen Topfversuche mit Boden von den Rauchblößen und vom normalen Weizenfeld ausgeführt. Im gekalkten Boden der Blöße wuchsen normale, im ungekalkten Boden kleine Weizenpflanzen. Damit war erwiesen, daß die Verzwergung ihre Ursache im Kalkmangel hatte.

Die Analyse zeigte auch einen sehr viel geringeren Kalkgehalt in diesem Boden als in dem vom normalen Weizenfelde an. Das Ergebnis der Topfversuche wurde im folgenden Jahre durch einen Feldversuch mit Hafer bestätigt. Ein Teil der Blöße wurde gekalkt. Auf der gekalkten Partie kamen normale Haferpflanzen, auf der ungekalkten verzwergte. Damit war erwiesen, daß der Zwergwuchs auf diesen Blößen durch eine Entkalkung des Bodens bedingt war.

Diese Beispiele zeigen, daß die Entkalkung durch saure Gase auch bei unseren Ackergewächsen eine Rolle spielen kann. Man muß sich aber wohl hüten, die Beurteilung, ob der Boden an Kalk reich genug ist, lediglich auf die chemische Analyse zu gründen, sondern muß einen Vegetationsversuch anstellen, denn der Kalkgehalt, der zur Erzeugung normaler Pflanzen ausreichen würde, kann unzulänglich sein, wenn z. B. viel Kupfer im Boden vorhanden ist. Wie aus einem Versuch von Haselhoff und Gössel, den ich noch später besprechen werde, hervorgeht, kann die schädliche Wirkung des sich durch die niederfallende Säure bildenden Kupfersulfats im Boden durch die Gegenwart von reichlichen Mengen von Kalk aufgehoben werden.

Eine besondere Erwähnung verdienen die städtischen Rauchschadengebiete. Bei der schnellen Vergrößerung der Städte und beim Anwachsen ihrer Zahl nehmen gerade diese Rauchschadengebiete das allgemeine Interesse in Anspruch. Es ist bekannt, daß die Vegetation in den Städten schlecht gedeiht. Die Ursache dafür wird in der Einwirkung der sauren Gase auf die Blattorgane der Gewächse erblickt. Aus den Analysen der Luft, die in verschiedenen Städten während längerer Zeiträume ausgeführt worden sind[1]), ergibt sich ein so außerordentlich geringer prozentischer Gehalt der Luft an freier Säure, daß man auf Grund der bei Hütten gemachten Erfahrungen nicht annehmen kann, daß sie die Ursache ist, und um so weniger, als im Sommer wegen des geringeren Kohlenverbrauches in den Haushaltungen noch geringere Säurekonzentrationen in die Luft gelangen als im Winter, für den die Untersuchungen ausgeführt worden sind. Es müßten also eigentlich nur die immergrünen Gewächse leiden; doch beschränkt sich die Schä-

[1]) Erster Bericht der Kommission zur Bekämpfung des Rauches in Königsberg i. Pr. Schriften der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg i. Pr. 48. Jahrg. 1907, 7. Heft. — Max Rubner, Über trübe Wintertage nebst Untersuchungen zur sog. Rauchplage der Großstädte. Archiv f. Hygiene Bd. 57, 59.

digung nicht auf sie. Es legt das den Gedanken sehr nahe, daß die Ursache der Vegetationsschäden eine andere ist. Leider sind diese Schäden nicht gründlich genug untersucht, so daß aus den Symptomen auf die Ursache geschlossen werden könnte. Sie sind vermutlich ganz komplizierte Erscheinungen, an denen mehrere Ursachen sich beteiligen. Ein wesentliches Moment wird man in einer Herabsetzung der Assimilation der Pflanzen erblicken müssen. Durch zu enge Bebauung ist den Pflanzen vielfach das Licht zu gering zugemessen; dazu kommt, daß durch die dunstige und neblige Atmosphäre noch ein Teil des Sonnenlichtes verschluckt und die Assimilation noch mehr herabgedrückt wird. Eine weitere Assimilationsverminderung dürfte durch die starke Berußung der Blattorgane bedingt sein[1]). Die wichtigste Ursache erblicke ich aber in der Entkalkung des Bodens. Sehr ansehnliche Mengen Säure gelangen in den Städten in die Luft, und alle Säure, ob sie im Winter oder Sommer auf den Boden niederfällt, muß für ihn schädlich werden[2]). Der Boden wird allmählich entkalkt, und hierauf ist meiner Ansicht nach das schlechte Gedeihen der Bäume und Sträucher in den Städten, abgesehen von der Wirkung der oben angegebenen Momente zurückzuführen, findet doch gewohnheitsmäßig niemals eine Düngung, z. B. der Bosketts, statt. Eine Kalkung des Bodens würde voraussichtlich eine gute Wirkung auf die Gewächse haben. Aus dem großen Kohlenkonsum der Städte ergibt sich, daß sehr große Säuremengen in die Luft gelangen, die größtenteils auf dem Gebiet der Stadt wieder niederfallen werden. Damit ist die Gefahr einer Entkalkung des Bodens gegeben. Wir haben aber auch direkte Belege für die in Städten stattfindende Entkalkung. Man hat an verschiedenen Orten sicher nachgewiesen, daß die Steine der Bau- und Kunstwerke von der Säure der Luft angegriffen werden und hat zum Teil ernste Schäden festgestellt.

Als bekannte Beispiele erwähne ich die Westminster-Abtei in London und den Kölner Dom[3]). Unter den Bindemitteln, welche

[1]) Diese Ansicht findet eine Stütze in Untersuchungen von Arthur G. Ruston, Über die Einwirkung des Rauches auf den Pflanzenwuchs. „Rauch und Staub", II, 1912, Nr. 4.

[2]) Nähere Angaben über die Säuremengen in der Stadtluft bei Wieler, Rauchwirkung in den Städten. Gartenwelt XIV, Nr. 45 u. 46.

[3]) Kaiser, Der Stubensandstein aus Württemberg, namentlich in seiner Verwendung am Cölner Dom. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie u. Paläontologie. 100. Jahrg. 1907, 2. Bd., 1. Heft.

die Quarzkörner des zum Bau des Kölner Doms verwandten Stubensandsteins aus Württemberg miteinander verkitten, findet sich auch Dolomit. Dieser wird durch die Rauchgase zersetzt und verändert, und es treten im Gestein weiße Schichten auf, welche sich als ein Gemenge von wasserhaltigen Kalk- und Magnesiasulfaten erweisen. Diese Salze werden durch das Regenwasser ausgewaschen, und dadurch lockert sich das Gefüge des Steins, so daß die ganze Konstruktion an Festigkeit einbüßt. Auch an anderen Orten, wo dieser Sandstein benutzt wird, hat man derartige Schädigungen beobachtet, wenn auch nicht in so hohem Maße wie am Kölner Dom. An der Westminster-Abtei sind die Schäden so groß gewesen, daß man sogar einzelne Teile neu hat bauen müssen[1]).

Andere in den Städten durch die sauren Gase der Kohlenfeuerung hervorgerufenen Gesteinsschäden sind die Beschädigungen der im Freien aufgestellten Marmorfiguren. Für München liegt darüber eine eingehende Untersuchung von Sendtner vor[2]). Die mit Regenwasser und Schnee niederfallenden sauren Gase lösen den Marmor auf. Dadurch werden die Marmordenkmäler mit der Zeit gleichsam angefressen. Um diese Schäden möglichst zu verhindern, werden z. B. in Berlin die einzelstehenden

[1]) Hierzu mögen noch einige Angaben von Sir Arthur Church aus „The International Smoke Abatement Exhibition and Conference", London, 23. März bis 4. April 1912, „Staub und Rauch", 2. Jahrg., No. 8, 1912, wiedergegeben werden. „Vor mehreren Jahren hat Dr. S. Rideal berechnet, daß die Schwefelsäure, welche durch die Verbrennung von Kohlen in London entsteht, jährlich mindestens $1^1/_2$ Million Tonnen beträgt. Die Wirkung der Schwefelsäure zeigt sich in besonders erschreckender Weise an der Westminster-Abtei (Chapter House) und an der St. Pauls-Kathedrale. Man hat in Mauerproben bis zu 74% Gips gefunden, und es kann gar kein Zweifel bestehen, daß diese großen Mengen nur durch die Einwirkung des schwefelsäurehaltigen Rauches sich bilden konnten. Besonders gefährlich wirkt in dieser Hinsicht der Ruß als der hartnäckige Träger der Schwefelsäure. Alle Baumaterialien, die aus Kalziumkarbonat bestehen, unterliegen dieser Einwirkung, besonders stark die Serpentingesteine, da sie wasserhaltiges Magnesiasilikat enthalten, welches sehr schnell in Magnesiumsulfat übergeht. In gleicher Weise ist die Einwirkung der Schwefelsäure schädlich auf die Wandmalereien (Fresken) an den Gebäuden. Diese enthalten in ihrem Pigment eine feine Beimengung von Kalziumkarbonat, welches durch die Schwefelsäure in Gips übergeht und sich dabei bis auf das zehn- bis zwölffache Volumen ausdehnt. Sogar der Untergrund der Malerei, welcher aus Kalk besteht, wird sehr oft ebenfalls zerstört."

[2]) Schweflige Säure und Schwefelsäure im Schnee. Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt. 1817.

Marmorfiguren im Tiergarten den Winter über zugedeckt. In dieser Jahreszeit ist die Gefahr für sie durch den großen Kohlenkonsum am größten.

Ebenso gut, wie die Säure auf die Gesteine der Bauwerke gelangt, fällt sie auch auf den Erdboden, und da an dem Gestein die Gipsbildung und die Entkalkung nachgewiesen ist, muß sie auch im Erdboden statthaben.

III. Die Resistenz der Bäume gegen Hüttenrauch.

Bei Behandlung der Resistenz der ausdauernden Pflanzen gegen Hüttenrauch hat man nicht immer scharf unterschieden zwischen Empfindlichkeit der Blattorgane gegen Hüttenrauch und der Resistenz der Gewächse. Die Empfindlichkeit der Blattorgane kann beispielsweise sehr groß und die Pflanze obendrein sehr resistent sein und umgekehrt. Für den ersten Fall ist die Birke ein ausgezeichnetes Beispiel. Die jungen Blätter sind gegen saure Gase sehr empfindlich; der Baum selbst ist sehr widerstandsfähig und hält mit am längsten in der Nähe der Hütten aus. Bei der Empfindlichkeit handelt es sich um die Widerstandsfähigkeit der Blattorgane gegen die in sie eindringende Säure. Die Resistenz der Gewächse ist, wenigstens so weit chronische Schäden in Betracht kommen, wahrscheinlich unabhängig von der Empfindlichkeit der Blätter und abhängig von den Veränderungen, die sich im Boden vollziehen, also von der Entkalkung mit ihren Folgen. Dafür sprechen unsere Versuche.

Es ist bekannt, daß die Eiche sich als Schlagholz von allen Bäumen am längsten in der Nähe der Hütten hält, so im Claustaler Rauchschadengebiet, bei Lethmathe auf dem Burgberg und im Eschweilerer Walde bei Stolberg i. Rh. Sie ist diejenige Pflanze, welche, wie unsere Versuche zeigen, die geringsten Ansprüche an Kalk im Boden stellt. Während sonst alle Pflanzen, bald eher, bald später auf der ungekalkten Parzelle der ersten neuen Versuchsfläche zugrunde gingen, hielt sich die Eiche die dreijährige Beobachtungszeit über unverändert. Aus ihrem geringen Anspruch an Kalk und dem tiefen Eindringen ihrer Wurzeln in den Boden ist die große Resistenz dieser Baumart in der Nähe der Hütten zu erklären. Die ausgepflanzten Exemplare verhielten sich analog. Ein Zusatz von Kalk verbesserte freilich auf allen Flächen das Wachstum, aber auf der dritten Fläche war der Unterschied

zwischen den gekalkten und ungekalkten Exemplaren nicht sehr in die Augen springend.

Anspruchsvoller als die Eiche ist die Rotbuche, aber weniger anspruchsvoll, als erwartet wurde. Sie ist zunächst auf allen ungekalkten Parzellen gekommen, doch waren im Laufe von drei Jahren alle Exemplare auf der ersten und die meisten Exemplare auf den beiden anderen Versuchsflächen verschwunden. Der Zusatz von Kalk hatte überall das Wachstum der Buchen gefördert, auf der ersten Fläche allerdings nur wenig, auf den anderen beiden Flächen aber waren normale Pflanzen entstanden. Wenn die Buchen auch verhältnismäßig lange Wurzeln besitzen, so sind diese doch ganz erheblich kürzer als bei der Eiche. Aber ihre relative Anspruchslosigkeit erklärt es, daß sich als Schlagholz die Buchen lange in der Nähe der Hütten halten, wie das auf dem Burgberg bei Lethmathe und in Eschweilerer Walde der Fall ist. Auch die hochstämmigen Buchen sind verhältnismäßig widerstandsfähig, was möglicherweise gleichfalls mit den Kalkansprüchen zusammenhängen kann. Jedenfalls sind die hochstämmigen Buchen widerstandsfähiger als die hochstämmigen Eichen, obgleich es bei den jungen Pflanzen und dem Schlagholz umgekehrt ist. Worin das abweichende Verhalten der hochstämmigen Eichen ihren Grund hat, ist bisher noch unerklärt.

Zu den Pflanzen, welche sich als sehr widerstandsfähig erwiesen haben, ist ferner die Birke *(Betula alba)* zu rechnen. Der Chemnitzer Stadtwald konnte nur mit Birke wieder aufgeforstet werden. Im Rauchschadengebiet bei Kattowitz-Myslowitz hat sich die Birke als Alleebaum bewährt, und im Eschweilerer Walde wächst sie zusammen mit Eiche und Buche als Schlagholz. Das Verhalten der gepflanzten Birken auf unseren Versuchsflächen zeigt, daß sie keine großen Ansprüche an Kalk erhebt, was nach der Ebermayerschen Skala für das Bedürfnis der Bäume nach ihren Ansprüchen an mineralische Bestandteile auch zu erwarten war[1]). Der Unterschied zwischen den gekalkten und ungekalkten Exemplaren der dritten Versuchsfläche ist unbedeutend. Es genügt also der Kalkgehalt der ungekalkten Parzelle dieser dritten Versuchsfläche, um ein ansehnliches Wachstum der gepflanzten Birken zu ermöglichen. Auf den ungekalkten Parzellen der beiden anderen Versuchsflächen war das Wachstum schlecht. Der Zusatz von Kalk hatte auf der ersten Versuchsfläche das Wachstum freilich gefördert, aber nicht

[1]) Angeführt bei F. Schwarz, Forstliche Botanik. Berlin 1892, S. 145.

beträchtlich, während sich die gekalkten Exemplare auf den beiden anderen Flächen kräftig entwickelt hatten. Die Birke soll nach Heß[1]) nur eine schwache Bewurzelung haben, die flach streicht. Wie die Untersuchung der Exemplare von der gekalkten Parzelle der zweiten Versuchsfläche lehrt, war ein sehr tief gehendes Wurzelsystem gebildet worden. Wie dem nun auch sein möge, jedenfalls ist die Birke durch ihre Anspruchslosigkeit an Kalk besonders widerstandsfähig, wie sie ja auch dadurch in den Stand gesetzt wird, sich auf Mauern und Kaminen anzusiedeln. Wenn sie nach der Resistenzskala von Haselhoff und Lindau[2]) als sehr wenig widerstandsfähig angegeben wird, so liegt hier eine Verwechselung mit der Empfindlichkeit der Blätter gegen die sauren Gase vor.

Der Bergahorn gilt als verhältnismäßig widerstandsfähig. Wenn er das wäre, und die Behauptung sich vielleicht nicht nur auf ein sehr unzulängliches Beobachtungsmaterial gründet, so müßte diese große Widerstandsfähigkeit dem Wurzelsystem zugeschrieben werden, das tief in den Boden eindringt und damit ein größeres Areal ausnutzen kann als flach wurzelnde Gewächse, falls der Boden entkalkt wird; denn nach den Erfahrungen auf unseren Versuchsflächen und anderen Angaben[3]) ist er ziemlich kalkbedürftig. Auf den ungekalkten Parzellen konnten sich die ausgesäten Exemplare nicht halten, während sie auf den gekalkten Parzellen der zweiten und dritten Versuchsfläche ganz gut, auf der entsprechenden Parzelle der ersten Versuchsfläche schlechter gekommen waren (vergl. S. 49). Die gepflanzten Exemplare erwiesen sich als noch anspruchsvoller. Selbst auf den gekalkten Parzellen hatten die Pflanzen nur kurze, zum Teil so gut wie gar keine Triebe gebildet, so daß die Blätter dicht zusammengedrängt am Ende der Achse standen. Die Blätter waren verschieden groß. Jedenfalls waren die Exemplare auf allen Versuchsflächen weit davon entfernt, ein üppiges Wachstum zu zeigen, was mit ihrem Anspruch an Kalk zusammenhängt.

Nach der Resistenzskala von Haselhoff und Lindau steht *Salix caprea* etwa in der Mitte. Es ist sehr wahrscheinlich, daß sich diese Pflanze als sehr widerstandsfähig erweisen wird, denn

[1]) Eigenschaften und forstliches Verhalten der wichtigeren in Deutschland einheimischen und eingeführten Holzarten. 2. Aufl. 1895, S. 81.

[2]) a. a. O. S. 118.

[3]) H. Kautz, Schutzwald. Forst- und wasserwirtschaftl. Gedanken. Berlin 1912, S. 29.

sie ist nicht sehr kalkbedürftig. Sie trat von selbst auf den gekalkten Parzellen auf und entwickelte sich dort stattlich, beispielsweise sehr schön auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf.

Von den drei in die Untersuchung gezogenen Nadelhölzern war die Fichte die kalkbedürftigste; weniger kalkbedürftig war die Kiefer. Und wie sie verhielt sich die Krummholzkiefer oder war sogar noch etwas weniger anspruchsvoll. Die gepflanzten Kiefern und Krummholzkiefern harmonierten in diesem Punkte mit den aus Saat gezogenen Exemplaren. Soweit die Beobachtungsdauer von 2 Jahren ein Urteil gestattet, entwickelten sich die gepflanzten Exemplare auf den ungekalkten Parzellen nicht kräftig, wohl aber auf den gekalkten. Auch standen die Kiefern hier besser als die Fichten auf der gekalkten Parzelle der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf. Dies Verhalten der Holzarten geht mit ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Hüttenrauch parallel. Fichte gilt allgemein als wenig widerstandsfähig. Der Grund liegt einmal in ihrem Kalkbedürfnis, zweitens aber darin, daß sie ein sehr flachstreichendes Wurzelsystem hat. Wenn dasselbe auf verschiedenen Standorten auch ungleich tief in den Boden eindringt, so ist es doch immer nur sehr oberflächlich ausgebreitet. An umgestürzten großen Fichten im Okertal in der Nähe von Gemkental betrug die Höhe des Wurzelsystems nicht mehr als 20 cm und an Fichten auf dem Hohen Venn 10—20 cm. Eine Erdschicht von 10—20 cm wird aber verhältnismäßig schnell entkalkt.

Demgegenüber ist die Kiefer in viel günstigerer Lage, indem sie weniger Ansprüche an den Kalkgehalt des Bodens stellt und eine lange Pfahlwurzel bildet; damit stimmt überein, daß sie erfahrungsgemäß widerstandsfähiger gegen Hüttenrauch ist. Mit Erfolg hat man vielfach die Kiefer noch da angebaut, wo die Fichte zu Tode geräuchert war; doch verfällt auch sie allmählich dem Tode, wenn die schädigende Ursache nicht aufhört. Noch jetzt kann man im Harz verschiedene Stellen sehen, wo die damals gepflanzten Kiefern sich wenigstens in einzelnen Exemplaren mehr oder weniger gut gehalten haben, so auf einigen Rücken im Innerstetal, wo sonst aller Wald verschwunden ist, und auf einem Abhang im Okertal bei Altenau (siehe S. 130). Die Kiefern sind aber an allen diesen Standorten mehr oder weniger, zum Teil sogar stark mitgenommen.

Ganz interessant ist auch ein Vorkommnis in der Nähe von Wildemann. „Vom Spitzigeberg nach dem Gallenberg hinüber zieht

sich ein Strich mit starkem Schaden. Der Bestand ist an einzelnen Stellen lückig, an anderen treten nur Nadelschäden hervor. Oberhalb Wildemann hat man begonnen, Pflanzungen von Nadelholz und Laubholz anzulegen. Fichten und Kiefern sind z. T. wieder totgeräuchert, nur die Bergkiefer *(Pinus montana)* hält sich länger und zeigt keine Nadelbeschädigung. Das Laubholz (Eichen, Buchen u. a.) zeigt keine bedeutende Schäden."[1]) Das Verhalten der Holzarten an dieser Stelle erklärt sich befriedigend aus dem Kalkgehalt des Bodens, da die Eiche nicht sehr kalkbedürftig und die Buche nicht kalkbedürftiger als die Bergkiefer ist.

Es ist wünschenswert, daß weitere Beobachtungen auch für andere Pflanzenarten über die Beziehungen zwischen der Widerstandsfähigkeit der Bäume gegen den Hüttenrauch und ihren Ansprüchen an den Kalkgehalt des Bodens gesammelt werden. Beispielsweise ist es sehr wahrscheinlich, daß die auswärtigen Nadel- und Laubhölzer, welche als besonders widerstandsfähig gegen saure Gase angesehen werden, durch geringe Ansprüche an Kalk und eventuell durch lange Pfahlwurzeln ausgezeichnet sind. Ceteris paribus werden die Arten widerstandsfähiger sein, welche Pfahlwurzeln haben, als diejenigen, welche flachstreichende Wurzeln besitzen, vorausgesetzt, daß der Boden entsprechend tiefgründig ist.

Im Anschluß an die Resistenzverschiedenheiten der Holzarten gegen Hüttenrauch soll die individuelle Resistenz der Bäume besprochen werden. Es ist eine alte Erfahrung, daß sich in einem Bestande benachbarte Bäume im Hüttenrauch sehr ungleich verhalten. Wo es sich dabei infolge der Nähe der Hütte um akute Schäden handelt, mag die Ursache in einer ungleichen Empfindlichkeit der Bäume gegen den Hüttenrauch liegen. Das kann aber nicht mehr der Grund sein beim ungleichen individuellen Verhalten der Bäume im Bereiche der chronischen bezw. unsichtbaren Schäden. Es liegt in der Konsequenz der in dieser Abhandlung entwickelten Anschauungen, auch diese ungleiche individuelle Resistenz mit einem ungleichen Kalkbedürfnis der Bäume in Zusammenhang zu bringen. Diese Ansicht kann sich auch auf gewisse Tatsachen stützen und ist nicht lediglich eine Vermutung. Auf S. 70 habe ich einen Versuch mit Fichtensaat angeführt, der in einem Kamp der Oberförsterei Zellerfeld im Einersberge ausgeführt worden ist.

[1]) Haselhoff u. Lindau, Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig, 1903, S. 153.

Im ungekalkten Boden entwickelten die aus im Einersberge gewonnenen Saat gezogenen Fichten ein größeres Wurzelsystem als die Fichten aus gekaufter Saat, die von anderem, unbekannten Standort herstammte. Vermutlich handelt es sich hierbei um eine Anpassung an den Standort. Bei einer Verminderung des Kalkgehaltes im Boden müssen sich Bäume aus solcher Saat länger halten als die anderen. Wenn sich aber starke Differenzen herausbilden können, so darf man wohl individuelle Verschiedenheiten in bezug auf den Kalkbedarf bei der Fichte überhaupt voraussetzen, und man wird berechtigt sein, mit ungleichen Kalkansprüchen auch bei den Bäumen im Bestande zu rechnen. Daß Pflanzen aus der gleichen Saat große individuelle Verschiedenheiten besitzen, ist eine bekannte Tatsache, und die Pflanzen auf allen unseren Versuchsflächen liefern dafür weitere Belege in bezug auf die Ansprüche an Kalk. Es finden sich immer einige Exemplare, die sich länger auf den ungekalkten Parzellen halten als andere, oder bei gleicher Resistenz ein größeres Wurzelsystem bilden. Die kalkbedürftigeren Exemplare werden auch als ältere Bäume bei einer Entkalkung des Bodens eher zugrunde gehen als die anderen. So liegen denn meiner Ansicht nach keine Schwierigkeiten vor, die ungleiche Widerstandsfähigkeit der Bäume in den Beständen, die unter Einwirkung von Hüttenrauch stehen, auf ungleiche Ansprüche an Kalk zurückzuführen anstatt auf ungleiche Widerstandsfähigkeit gegen direkte Einwirkung des Hüttenrauches. Diese letztere Auffassung erscheint geradezu unmöglich, wenn man sieht, wie eigenartig und ungleichmäßig benachbarte Bäume absterben, ganz abgesehen davon, daß das Absterben viel zu langsam vor sich geht, als daß man sich denken könnte, daß eine direkte Einwirkung des Hüttenrauches im Spiele ist. Die Abb. 41 führt seit Jahren im Absterben begriffene Fichten aus dem Einersberge gegenüber der Aufbereitung vor.

Es handelt sich um den Überrest eines weggeräucherten Fichtenbestandes. Die Fichten stehen ziemlich frei und sind von sehr verschiedenartiger Entwickelung. Bei den meisten Exemplaren ist der Nadelmangel sehr deutlich, bei anderen wiederum ist die Benadelung noch etwas reichlicher. Die Entnadelung erfolgt meistens so, daß die ältesten Nadeln zuerst abgestoßen werden, da die jüngeren ihnen das Wasser entziehen, doch kann das auch anders sein, indem an einem Teil des Baumes alle Nadeln absterben, während an einem anderen noch mehrere Nadeljahrgänge

vorhanden sind. Dementsprechend ist auch die Verzweigung sehr ungleichartig. Bei einigen Exemplaren ist sie sehr lückenhaft. Bald sind die Zweige an der Spitze, bald unten, bald in der Mitte abgestorben. Normalerweise sterben die Zweige von unten nach oben ab. Am auffälligsten ist vielleicht der Baum, dessen Spitze tot ist. Wahrscheinlich konnten die Wurzeln nicht mehr die höchsten Teile des Baumes mit Wasser versorgen. Infolgedessen starb er ab, bis das richtige Verhältnis zwischen Bedarf und Leistung hergestellt war. Es ist natürlich ganz unmöglich, im einzelnen die Art des Absterbens der Bäume zu erklären. Stirbt alles auf einer

Abb. 41.
Rauchbeschädigte Fichten im Einersberge in der Oberförsterei Zellerfeld gegenüber der Aufbereitung.

Seite des Baumes ab, so wird man mit Recht schließen dürfen, daß sich auf dieser Seite nicht mehr genügend Wurzeln bilden können, indem hier der Boden entkalkter ist als auf der anderen Seite. Hierfür finden sich auch Beispiele in den Rauchschadengebieten. Ein auffälliges Beispiel bietet eine ältere Kiefer in der Entfernung von ca. $^1/_2$ km von der Frankenscharrnhütte. Sie steht ganz isoliert und ist zum größten Teil nicht nur nadel-, sondern auch zweig- und astlos. In diesem Zustande steht sie schon ein längere Zahl von Jahren, immer vom Hüttenrauch umweht. Ähnliche Erscheinungen in allen Stadien des Absterbens

bieten die Kiefern im Rauchschadengebiet bei Altenau (S. 130). Kann man auch das vielfach eigenartige Absterben aller dieser Bäume nicht im einzelnen erklären, so leuchtet es doch ein, daß dafür mit größerer Wahrscheinlichkeit die Bodenverhältnisse als die sauren Gase in der Luft verantwortlich zu machen sind.

Die Fichte mit dem abgestorbenen Wipfel auf der Abb. 41 (S. 147) macht auch eine andere in den Rauchschadengebieten beobachtete Erscheinung verständlich, das schnellere Absterben der den Bestand überragenden Stämme. Hierbei kann es sich nicht mehr um individuelle Verschiedenheiten handeln. Gewöhnlich wird die Erscheinung so gedeutet, daß die Kronen der überragenden Stämme stärker vom Hüttenrauch getroffen werden als die der anderen Bäume, und daß sie infolgedessen eher zugrunde gehen, doch läßt sich diese Erscheinung vielleicht befriedigender aus der Entkalkung des Bodens erklären. Geht mit fortschreitender Entkalkung des Bodens die Bildung des Wurzelsystems zurück, so muß sich das am meisten dort bemerkbar machen, wo das Mißverhältnis zwischen Wasserkonsum und der wasseraufnehmenden Leistung des Wurzelsystems am größten ist, und das ist der Fall bei Bäumen, die hoch über den Bestand hinausragen; denn einmal ist hier das Wasser in eine größere Höhe zu transportieren und ist mehr Blattfläche zu versorgen, andererseits wächst auch die Transpiration mit der freieren Stellung der Krone. Daß aber bei einer Verschlechterung des Bodens schon scheinbar geringe Unterschiede in der Wasserversorgung der Bäume für ihr Aussehen und Wachstum eine große Rolle spielen, dafür bieten die beiden Rauchschadengebiete bei Claustal und Altenau gute Beispiele. In kleinen Einsenkungen der Hänge, in kleineren Tälern, auf der Sohle des Flusses selbst gehen die Bäume viel weniger leicht zugrunde als an den trockneren Stellen, obgleich auch hierher der Hüttenrauch gelangt und auch hier der Boden entkalkt werden muß. Bisher wurden diese Erscheinungen wenig berücksichtigt, sie wurden meistens so gedeutet, daß der Rauch nicht oder nur weniger an diese Orte gelangte. Nun läßt sich aber für bestimmte Fälle zeigen, daß diese Annahme nicht zutrifft. Das beste und interessanteste Beispiel hierfür ist eine Laubholzpflanzung im Okertal, etwa 1 km abwärts von der Hütte. Während die angrenzenden Abhänge vollständig vom Walde entblößt sind, sind diese Laubhölzer ohne Schäden, obgleich der Hüttenrauch über sie hinstreichen muß, wenn der Talwind die Gase abwärts führt.

Eine Beschreibung der Örtlichkeit findet sich bei Haselhoff und Lindau. „Während in der Nähe der Hütte kein Baumwuchs fortkommt, findet sich etwa 10 Minuten weiter unterhalb im Tale eine Pflanzung von Laubhölzern, die vortrefflich gedeiht. Es sind hier zum Versuch allerlei Ahornarten, Eichen, Linden, Buchen, Weißdorn, Platanen, Kastanien u. a. m. angepflanzt worden. Man kann sich kaum einen größeren Kontrast denken als den zwischen dem üppigen grünen Wäldchen und den dicht daneben befindlichen pflanzenlosen Berghängen. Und doch kann man, wie es von mancher Seite geschehen ist, das Gedeihen dieser Bäume durchaus nicht dazu verwerten, um die Schädlichkeit des Hüttenrauches zu bestreiten. Es liegen hier nur eigentümliche lokale Verhältnisse vor, die wieder einmal die große Schwierigkeit der Rauchexpertise illustrieren. Gerade in der Zeit, wo die Beschädigung der Blätter stattfinden kann, werden die Dämpfe nur äußerst selten durch Nebel im Tale niedergehalten. Der Rauch hat fast immer Gelegenheit, sich an den Hängen festzusetzen und die Talsole freizulassen. Dieser klimatische Faktor wird noch durch den hohen Schornstein unterstützt. Je höher die Esse ist, in um so höhere Luftschichten wird auch unter günstigen Umständen der Rauch fortgetragen. In diesem Falle wird er über die Laubholzpflanzung hinweggeführt. Das Gedeihen der Bäume hat daher nichts besonders Verwunderliches; daß auch sie gelegentlich einmal Schaden erleiden können, zeigten die charakteristischen roten Säureflecken an mehreren empfindlicheren Blättern. Immerhin ist aber die Erscheinung, daß in unmittelbarer Nähe der Hütte so üppiger Baumwuchs sich findet, bemerkenswert und verdiente hier ausführlichere Erwähnung.“ [1]) Diese Erklärung von Haselhoff und Lindau erscheint mir unzutreffend zu sein. Weil die chronischen Schäden hier nicht beobachtet wurden, nehmen unsere Autoren an, daß die Säure nicht bis hierher kam, geben andererseits aber doch wieder zu, daß gelegentlich Säure, sogar in solcher Konzentration dahingelangte, daß Säureflecken auf den Blättern auftraten, die aber belanglos gewesen sein sollen. Gegen die Richtigkeit der Auffassung, daß die Säure nicht in die Laubholzpflanzung eingedrungen, sondern darüber hinweggegangen ist, spricht der Umstand, daß der Abhang des Berges auf der Westseite von der Laubholzpflanzung bis auf die Talsohle durch den Hüttenrauch seiner Vegetation beraubt worden, so daß die Fläche kahl und von Rinnsalen durchzogen ist. Dieser

[1]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Leipzig, 1903, S. 161.

Abhang grenzt aber unmittelbar an die Laubholzpflanzung seitlich an, wie aus der Abb. 42 ersichtlich ist. Links im Bilde sind die Gebäulichkeiten (ehemalige Eisenhütte) mit einem Teil der Laubholzpflanzung zu sehen. Unmittelbar neben und hinter dieser kommt der kahle Bergabhang zum Vorschein. Der Talwind wird schon dafür sorgen, daß die sauren Gase auch im Sommer, also zur Zeit, wo die Bäume nicht entlaubt sind, hierher gelangen. Wenn sich demnach die Bäume anders verhalten haben als die Vegetation auf dem Abhange, so geht daraus hervor, daß die Ursache für die Vernichtung der letzteren anderswo zu suchen ist, und daß es sich

Abb. 42.

Okertal, in der Nähe der Altenauer Hütte. Ehemalige Eisenhütte mit Garten und Rauchblöße am Bergabhang. 1911.

um eine Ursache handeln muß, für deren Wirksamkeit die Bedingungen bei der Laubholzpflanzung nicht gegeben waren. Diese Ursache ist die Entkalkung des Bodens. Wenn sie sich nicht bei der Laubholzpflanzung bemerkbar macht, so liegt der Grund dafür in dem Umstande, daß die Bäume mit dem Grundwasser von seiten der Oker immer neue mineralische Substanzen und darunter auch Kalk zugeführt erhalten[1]). Hierdurch wird die Entkalkung des

[1]) Bei der Pflanzung war unberäucherte Kulturerde benutzt worden, die 0,6 m hoch aufgefahren wurde.

Bodens wieder aufgewogen. Daß diese Vorstellung sachlich begründet ist, geht aus einer Untersuchung von W. Schönberg[1]) hervor. Er hat nachgewiesen, daß Kiefernbestände I. und II. Bonität vorkommen, die auf Böden stocken, welche nach den Ergebnissen der mechanischen und chemischen Analyse Sandböden geringster Ertragsleistung sein würden. Der hohe Ertrag dieser Böden ist die Folge davon, daß die Wurzeln der Bäume leicht das Grundwasser erreichen können. „Hier hebt also das für die Wurzeln leicht erreichbare Grundwasser sowohl die ungünstige physikalische als auch chemische Beschaffenheit des Bodens völlig auf, indem es nicht nur eine dauernde und gleichmäßige Wasserversorgung des Bodens gewährleistet, sondern auch gleichzeitig der Träger der Mineralstoffe wird. Unter solchen Bedingungen können selbst nahezu reine Quarzsande noch gute Waldböden abgeben."

Wo die Wurzeln das Grundwasser erreichen können, sie also durch dies immer wieder mineralische Stoffe zugeführt erhalten, da wird sich die Entkalkung des Bodens nicht oder erst sehr viel später bemerkbar machen. So sehen wir denn, daß sich die an der von Claustal nach Wildemann führenden Chaussee stehenden Laubbäume im Innerstetal gut halten, während in unmittelbarer Nähe die Bergabhänge kahl oder nur mit Gras und Heide bestanden sind. Der bessere Stand der Fichten in den Seitentälern als auf den Hängen dürfte durch die vermehrte Zufuhr von Wasser, das, mineralische Stoffe führend, von den Hängen herabfließt, bedingt sein. Schon Einsenkungen in den Hängen begünstigen durch die größere Wasserzufuhr das Wachstum der Fichten. Wo sich auf der Grunder Seite des Innerstetals der Berg etwas einsenkt (vergl. Abb. 1, S. 10), schiebt sich auch die Waldgrenze etwas mehr gegen das Tal vor. Und ähnliches ist auch auf der Zellerfelder Seite auf der Abb. 3 S. 12 zu sehen. Die Abb. 42 auf S. 150 gestattet einen Blick in das Ende eines kleinen Seitentales der Oker. Hier stehen noch Fichten, während die benachbarten Hänge total verwüstet sind.

---

[1]) Über den Zusammenhang zwischen Ertragsleistung und Bodenbeschaffenheit bei der Kiefer. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. XLII. 11. Heft, 1910, S. 653.

Über den Ursprung der sauren Böden.

Die hohe Azidität der Böden in den von mir untersuchten Rauchschadengebieten lenkte zuerst meine Aufmerksamkeit auf die Veränderungen, welche die Böden unter der Einwirkung des Hüttenrauches erfahren, indem ich von der freilich irrigen Voraussetzung ausging, daß sie normalerweise neutral sein müßten. Da es viele saure Waldböden gibt, auf denen der Wald vortrefflich gedeiht, so kann die Azidität des Bodens an sich nicht nachteilig wirken, eher schon der verschiedene Grad der Azidität; unbedingt entscheidend für das Gedeihen des Waldes ist die Gegenwart ausreichender Kalkmengen. Ist der Kalkgehalt hoch genug, so können die Bäume auch im sauren Boden wachsen. In den Böden unserer Versuchsflächen ist er, wie wir gesehen haben, zu gering, und deshalb ist dort ein Baumwuchs ausgeschlossen. Erscheint demnach die Azidität des Bodens zunächst als etwas Nebensächliches und Untergeordnetes, so drängt sich um so mehr die Frage auf, was für eine Bewandtnis es mit dem sauren Charakter des Bodens hat, und woher er rührt.

Bis vor kurzem nahm man an, daß die Zersetzungsprozesse durch Mikroorganismen im sauren Boden anders verlaufen als im neutralen und alkalischen Boden, indem unter den abweichenden Bedingungen andere Organismen die Oberhand gewinnen und damit Stoffwechselprodukte auftreten, die dem Boden den humussauren Charakter verleihen. Da man nur die nassen sauren Böden näher kannte und sie in Gegensatz zu den trocknen neutralen und alkalischen Böden stellte, war diese Erklärung ganz verständlich. Seitdem man aber weiß, daß es viele trockne saure Böden gibt, ja sogar Böden von ausgesprochenem Torfcharakter, weshalb für sie auch die Bezeichnung „Trockentorf“ eingeführt worden[1]), ist diese Erklärung ungenügend, abgesehen davon, daß diese Ansicht niemals durch sorgfältige Versuche exakt begründet worden ist. Das Auftreten von torfartigen Humusbildungen auf dem Trockenen wie im Nassen weist daraufhin, daß beide Humusformen die gleiche Bildungsursache haben müssen. Nun ist der saure Charakter des Torfs und seine Entstehung vor kurzem durch eine sehr sorgfältige

[1]) P. E. Müller, Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin 1887.

Untersuchung von Baumann und Gully[1]) aufgeklärt worden, und sie wirft auch ein helles Licht auf die Entstehung des Trockentorfs.

Unsere Autoren haben zeigen können, wenn sie auch Widerspruch erfahren haben, daß die sogenannten freien Humussäuren im Moorboden gar nicht vorhanden sind, sondern daß es sich um eine Täuschung handelt, die durch Absorptionserscheinungen hervorgerufen wird. Der Torf wie der Moorboden sind imstande, Salze zu zerlegen, indem sie die Säuren abscheiden und Basen absorbieren. So erklärt sich die bisher unverständliche Tatsache, daß die schwachen Humussäuren imstande sind, die stärksten Mineralsäuren aus ihren Salzen auszuscheiden. Baumann und Gully haben weiter zeigen können, und das ist für das Verständnis der Humusbildung von fundamentaler Bedeutung, woher dies starke Absorptionsvermögen rührt. Sie haben festgestellt, daß die Zellwände von *Sphagnum* — sie haben nur den Moostorf untersucht — gleichfalls absorptiv ungesättigt sind und ungefähr in demselben Grade wie der Torf, der aus ihnen hervorgeht. Der saure Charakter des Moostorfs rührt also daher, daß das Material, aus dem er entsteht, bereits sauer ist.

Es liegt kein Grund vor, für den Trockentorf eine andere Entstehungsweise als für den Moostorf anzunehmen; dann müssen auch die Pflanzenteile, aus denen er sich bildet, also vorwiegend Blätter und Nadeln, denselben sauren Charakter besitzen wie von *Sphagnum*. Und man wird diese Auffassung verallgemeinern dürfen und behaupten müssen, daß jeglicher Humus seinen Ausgang von sauer reagierenden Pflanzenteilen nimmt, daß es nur von den im Boden gegebenen Bedingungen abhängt, ob ein saurer oder neutraler Boden entsteht. Ist Gelegenheit zur vollkommenen Sättigung der Affinitäten gegeben, so wird der Boden mindestens neutral, sonst bleibt er sauer, allerdings in verschiedenem Grade, je nach der Absättigungsmöglichkeit der Affinitäten. Mit Rücksicht auf die Ergebnisse der Untersuchungen von Baumann und Gully hat Ramann in der neuesten Auflage seiner „Bodenkunde“ die Böden in zwei Gruppen, in absorptiv ungesättigte (saure) und ge-

[1]) Untersuchungen über die Humussäuren. Mitteilungen d. K. Bayr. Moorkulturanstalt. Bd. 1. A. Baumann, Geschichte der Humussäuren. Heft 3; A. Baumann und E. Gully, Die freien Humussäuren des Hochmoores, ihre Natur, ihre Beziehungen zu den Sphagnen und zur Pflanzenernährung. Heft 4. 1910. Stuttgart.

sättigte (neutrale und alkalische) eingeteilt. Noch fehlt aber der Nachweis, daß es sich so verhält. Es läßt sich nun leicht zeigen, daß Blätter und Nadeln sich ebenso wie die von Baumann und Gully untersuchten Torfmoose verhalten.

Baumann und Gully haben eine hübsche qualitative Reaktion zum Nachweis des sauren Charakters der Böden angegeben; diese Methode läßt sich auch verwenden, um den sauren Charakter der Blätter und Nadeln nachzuweisen. Sie beruht darauf, daß durch die humussauren Stoffe Jod aus entsprechenden Jodverbindungen ausgeschieden wird, dessen Gegenwart man durch Stärke nachweist. Auf 3 g Boden läßt man 15 Minuten lang unter häufigerem Umschütteln 100 ccm einer Jodlösung einwirken, die auf 100 ccm Wasser 2 g Jodkalium und 0,1 g jodsaures Kalium enthält, dann filtriert man und setzt zum Filtrat einige Tropfen Stärkelösung hinzu. Es entsteht eine Blaufärbung, aus deren Nuance man einen ungefähren Schluß auf die Menge der ungesättigten Affinitäten ziehen kann. Ist der Boden stark humussauer, dann ist der Zusatz von Stärke nicht einmal nötig; das ausgeschiedene Jod verrät sich schon durch die gelbe bis braune Färbung des Filtrates. Mit dieser Methode habe ich nun auch den humussauren Charakter der Pflanzenteile nachgewiesen. Schon früher habe ich zeigen können, daß die abgefallenen und unzersetzt aufgehäuften Nadeln unter den beräucherten Fichten im Claustaler Rauchschadengebiet stark humussauer sind. Zum Nachweis bediente ich mich damals der Methode von Tacke zur quantitativen Bestimmung der freien Humussäure in Böden. Zu dem zu untersuchenden Material wurde eine Aufschlemmung von Kreide gesetzt und die ausgeschiedene Kohlensäure bestimmt. Ich führte zwei Bestimmungen mit je 10 g lufttrockner Substanz, die noch 21,85% Wasser enthielt, aus. Es wurden 27,7 resp. 34,6 mg Kohlensäure ausgeschieden[1]). Da diese Kohlensäure unmöglich etwa von aus der Luft aufgenommener Säure herrühren konnte, ist hierdurch der Beweis erbracht, daß die abgefallenen Nadeln humussauer, nach neuerer Auffassung also absorptiv ungesättigt sind. Dies Verhalten wurde damals nicht weiter verfolgt. Es deutet aber darauf hin, daß sich auch die Blätter und Nadeln anderer Bäume oder, allgemeiner gesprochen, alle Pflanzenteile ebenso verhalten. Ich habe mit der Baumann-

[1]) Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen. Berlin 1905, S. 308.

Gullyschen Jodprobe eine größere Zahl von Pflanzenteilen daraufhin untersucht und zwar mit folgendem Ergebnis:

Fichte.

1. Frische grüne Nadeln aus dem Harz, getrocknet;
2. durch Hüttenrauch beschädigte Nadeln, getrocknet;
3. im Sommer vom Baum gepflückte Nadeln, getrocknet;
4. abgefallene Nadeln aus dem Claustaler Rauchschadengebiet, die schon lange um den Baum herumgelegen hatten.

Alles erwies sich als stark sauer.

Rotbuche.

1. Grüne, im Sommer gepflückte und getrocknete Blätter;
2. Blätter, die im Winter vom Baum gepflückt wurden;
3. Blätter, die im Winter vom Boden aufgelesen wurden und aus dem vorhergehenden Jahre stammten;
4. Buchenlaub aus dem Vorjahre, im Sommer aufgelesen.

Alles war stark sauer.

Amerikanische Eiche.

Vertrocknete Blätter, im Herbst bald nach dem Blattfall aufgelesen. — Sauer.

Roßkastanie.

Abgefallene und vertrocknete Blätter, bald nach dem Laubfall aufgelesen. — Sauer.

Weinstock.

Gesunde grüne Blätter, im Sommer vom Stock gepflückt und getrocknet. — Stark sauer.

Gelbe Lupine.

Im Garten gezogen, rechtzeitig abgeerntet und im getrockneten Zustande aufgehoben. Stengel und Blätter gemeinsam untersucht. — Stark sauer.

Hafer.

Im Garten gezogen, rechtzeitig abgeerntet und im getrockneten Zustande aufgehoben. Stengel und Blätter zusammen untersucht. — Stark sauer.

Werg vom Flachs. — Sauer.

Verbandwatte. — Ziemlich stark sauer.

Die vorstehenden Bestimmungen, die mit sehr verschiedenen Pflanzenteilen ausgeführt wurden, dürften ausreichen, um die Auffassung zu begründen, daß alle Pflanzenteile den sauren Charakter

besitzen, und daß er an einen allen gemeinsamen Stoff gebunden sein muß, der nur die Zellmembran sein kann. Das Verhalten der Sphagnen ist nur ein spezieller Fall dieser allgemeinen Regel. Da Blätter und Nadeln, die lange Zeit auf dem Erdboden gelegen hatten, auch die saure Reaktion aufwiesen, so geht daraus hervor, daß die saure Reaktion nicht von Säuren herrührt, denn diese würden durch das Regenwasser ausgewaschen worden sein. Es muß demnach die Reaktion an die Gegenwart von kolloidalen Körpern im Zellinhalt oder in der Zellmembran oder in beiden gebunden sein.

Immerhin habe ich bei einem Teil des Untersuchungsmateriales geprüft, ob sich sauer reagierende Substanzen mit Wasser ausziehen ließen. Nach anhaltendem Auskochen erwies sich die Verbandwatte als erheblich weniger sauer, und Werg reagierte nur noch ganz schwach sauer. Diese Feststellungen wurden mit der Baumann-Gullyschen Jodprobe gemacht. In anderen Fällen wurde die Verminderung der Mengen saurer Substanzen durch Auskochen nach einer anderen unten näher zu besprechenden Methode ermittelt. Es darf wohl mit Sicherheit angenommen werden, daß durch das Auskochen zunächst alle Säuren entfernt worden sind. Augenscheinlich sind aber noch andere Stoffe, also kolloidale Substanzen extrahiert worden. Wenn es auch wahrscheinlich ist, daß alle diese Stoffe aus dem Zellinnern stammen, so ist es doch nicht ausgeschlossen, daß ein Teil derselben auch aus der Zellwand herrührt. Nach gewissen qualitativen Reaktionen zu urteilen, werden ganz wesentlich Gerbstoffe extrahiert, jedenfalls aber kolloidale Substanzen. Ist der Extrakt nicht zu stark gefärbt, läßt sich sein saurer Charakter mit der Jodprobe und mit Lackmus nachweisen. In einem Falle wurde der Extrakt auf die elektrische Leitfähigkeit untersucht, die bei Gegenwart von Säuren vorausgesetzt werden muß, freilich mit negativem Ergebnis. Es war der Extrakt von getrockneten, vom Baum gepflückten gesunden Fichtennadeln gewählt worden[1]).

Für eine größere Zahl von Fällen ist die Azidität quantitativ bestimmt worden. Es wurde dazu gleichfalls eine von Baumann und Gully vorgeschlagene Methode benutzt. Man läßt eine be-

[1]) Herr Dr. Ing. A. Fischer, Privatdozent für Elektrochemie an der Technischen Hochschule zu Aachen, hatte die Freundlichkeit, die Bestimmung über die elektrische Leitfähigkeit auszuführen, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

stimmte Menge einer Lösung von 10% essigsaurem Kalzium auf eine bestimmte und immer gleiche Menge der zu untersuchenden Substanz die gleiche Zeit über einwirken. Die freiwerdende Essigsäure wird durch Titrieren mit $^1/_{10}$ N. NaOH und $^1/_{10}$ N. H_2SO_4 mit Phenolphthaleïn als Indikator bestimmt. Ich ließ 100 ccm der Lösung auf 3 g Substanz 3 Stunden lang unter häufigem Umschütteln einwirken. Es stellte sich hierbei nun die Notwendigkeit heraus, in vielen Fällen vorher die Substanzen mit reichlichen Mengen Wasser auszukochen, weil sonst die Lösung so stark gefärbt wurde, daß Titrieren ausgeschlossen war. Dabei gingen zum Teil sehr große Substanzmengen in Lösung, bei den oben erwähnten abgefallenen und unzersetzten Fichtennadeln aus dem Harz 23,26% und bei den abgestorbenen, im Winter vom Baum gepflückten Buchenblättern sogar 66,19%. Dennoch reagierte der Rückstand, der also der Hauptsache nach aus den Zellhäuten bestand, stark sauer.

Die Zahlen in der folgenden Zusammenstellung beziehen sich auf 100 g der untersuchten Substanz und sind auf CaO berechnet, da die Substanzen aus der Lösung CaO absorbieren. In den Fällen, wo ausgekochtes Material untersucht wurde, kam ebenso wie beim Vergleichsmaterial wasserfreie, sonst lufttrockne Substanz zur Anwendung. Die Zahlen beziehen sich also in dem einen Falle auf lufttrockne, im anderen Falle auf wasserfreie Substanz.

		Absorb. CaO
1.	Hafer, Stengel und Blätter	1,160 g
2.	Lupine, Stengel und Blätter	1,413 g
3.	Wurzeln von Rotklee, ausgekocht	0,315 g
4.	Unterste Partie des holzigen Stengels von Heide (Harz)	0,616 g
5.	Abgefallene und unzersetzte Nadeln aus dem Harz, unausgekocht	1,922 g
6.	Dasselbe, ausgekocht	1,475 g
7.	Frische Fichtennadeln, ausgekocht	1,209 g
8.	„ „ „ , andere Probe .	1,260 g
9.	Rotbuche, im Sommer gesammelte und getrocknete Blätter, ausgekocht	0,634 g
10.	Rotbuche, im Winter vom Baum gepflückte Blätter, ausgekocht	0,448 g
11.	Dasselbe, unausgekocht	1,325 g
12.	Buchenlaub des Vorjahrs, im Sommer aufgelesen, wenig zersetzt	1,540 g

Aus der qualitativen und quantitativen Untersuchung von Nadeln, Blättern und anderen Pflanzenteilen auf sogenannte freie Humussäuren geht hervor, daß als Streu sehr saure Substanzen in den Waldboden gelangen, Substanzen, die wahrscheinlich nicht weniger sauer sind als die Torfmoose, aus denen der Torf hervorgeht. Aus diesen Massen löst Wasser einen nicht unerheblichen Anteil heraus, der gleichfalls sauer ist, doch entfällt der größere Anteil der Azidität auf die festen Massen, der Hauptsache nach also auf die Zellhäute. Der lösliche Anteil hat wahrscheinlich seinen Sitz im Zellinnern und dürfte vorwiegend aus Gerbstoffen und Verwandten bestehen. Diese Stoffe sind es vermutlich, welche im Regenwasser gelöst, durch die oberen Erdschichten hindurchsickern und in tieferen Schichten humose Ausfällungen veranlassen[1]). Der saure Charakter des Bodens rührt von diesen sauren Streumassen her, die eine weitere Zersetzung unter normalen Umständen erfahren, doch bleiben sauer reagierende Substanzen übrig, die sich sogar im Boden anreichern können.

Eine einschlägige Untersuchung habe ich mit Streu und Boden aus einem Buchenwald im Bezirk Dachsenhausen bei Braubach am Rhein ausführen können. Die Streu bestand im Sommer wesentlich noch aus unzersetzten Blättern des Vorjahres. Die unter ihr liegende Erde und der Boden aus etwa Spatentiefe wurden auf ihre Azidität untersucht.

	100 g Substanz (lufttrocken) absorbierten CaO
1. Streu	1,540 g
2. Darunter befindliche Erde	1,111 g
3. Boden, etwa aus Spatentiefe . . .	0,653 g

Demnach scheinen die sauer reagierenden kolloidalen Substanzen nach den tieferen Schichten zu nicht zuzunehmen. Wenn man aber die Zahlen auf die vorhandene Menge organischer Substanz, von der sie abhängen, berechnet, so erhält man das entgegengesetzte Resultat:

	100 g Boden enthalten organ. Substanz	100 g organ. Substanz absorbieren CaO
2.	17,77 g	6,20 g
3.	9,23 g	7,07 g

[1]) P. E. Müller, Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin, 1887, S. 12. — E. Ramann, Bodenkunde. 3. Aufl., Berlin, 1911, S. 173.

Saure Substanzen reichern sich demnach verhältnismäßig erheblich im Boden an, und dies sind vermutlich die schwer oder gar nicht zersetzbaren Humusstoffe. Bei dieser Gelegenheit mag erwähnt werden, daß auch Braun- und Steinkohle sich mit der Baumann-Gullyschen Jodprobe als sauer erweisen, und zwar Braunkohle etwas saurer als Steinkohle.

Da aus der Streu erfahrungsgemäß sowohl ein saurer wie ein neutraler Boden, bei den Buchen beispielsweise nach den Untersuchungen von P. E. Müller entweder der neutrale Mull oder der saure Trockentorf, hervorgehen kann, die Streu aber, wie wir gesehen haben, von Haus aus humussauer ist, so hängt es von anderen Umständen, besonders von der Bodenbeschaffenheit ab, was für ein Boden entsteht. Die erste Voraussetzung für eine weitere Zersetzung der Streu ist, daß sie in enge Berührung mit dem Boden und den in ihnen lebenden Mikroorganismen gebracht wird. Dieser Forderung trägt man auf dem Felde durch das Ackern und durch das Unterpflügen der Stoppeln, des Mistes und der Gründüngung Rechnung. Im Waldboden ist ein derartiger Eingriff des Menschen ausgeschlossen. Seine Rolle wird von Tieren übernommen, die die Streu zerkleinern und das zerkleinerte Material mischen. Die größte Bedeutung unter ihnen scheint den Regenwürmern zuzukommen. Sie zerkleinern nicht nur die Abfälle und mischen sie mit dem Erdboden durch ihre Wühlarbeit, sondern sie ziehen auch die Blätter in ihre Röhren hinein, verdauen sie zum Teil und mischen sie auf diese Weise sehr vollkommen mit den mineralischen Teilen des Bodens, indem sie die Masse als Exkremente wieder ausscheiden. Durch diesen letzteren Vorgang soll nach P. E. Müller der Mullboden entstehen. In ihm sind fein verteilte organische Massen aufs engste mit mineralischen Stoffen gemischt, und dieser Boden ist neutral. Ferner sind für die Zerkleinerung der organischen Massen und ihre Mischung mit dem Boden die Insekten von Bedeutung, wenn sie auch nicht so wirksam sein sollen wie die Regenwürmer. Durch Zertreten und Aufwühlen des Bodens beteiligen sich an der Bodenbearbeitung auch höhere Tiere wie Maulwurf und Wildschwein. Wo es im Walde an den nötigen bodenbearbeitenden Tieren fehlt, müssen, weil eine Mischung mit dem Boden ausgeschlossen ist, die Streumassen unzersetzt liegen bleiben. So dürfte sich das Auftreten von Trockentorf erklären, der, wie bekannt, heute weite Gebiete überzieht. In allen diesen Fällen sind im Boden nicht die Bedingungen für das notwendige

Tierleben gegeben. Woran es liegt, daß hier besonders die Regenwürmer fehlen, ist bisher nicht untersucht worden. Da es sich immer um Böden mit geringem Kalkgehalt handelt, liegt die Vermutung nahe, daß eine Beziehung zwischen den Lebensverhältnissen der Regenwürmer und dem Kalkgehalt des Bodens besteht.

Wird durch die Zerkleinerung und Mischung der organischen Massen mit dem Erdboden die Bedingung für weitere Zersetzung gegeben, so wird die Reaktion des Bodens durch seinen mineralischen Charakter hervorgerufen. Von ihm wird es abhängen, ob der Boden alkalisch, neutral oder sauer reagiert. Je ärmer er an Basen ist, um so saurer bleibt er. Auch die weitere Zersetzung der organischen Massen wird wesentlich durch die Natur des mineralischen Bodens bedingt sein, da von ihm die Entwicklung der Mikroflora abhängt, worauf ich oben in bezug auf den Kalk (S. 125) hingewiesen habe.

In der Fähigkeit der organischen Substanzen, Salze zu zerlegen und die Basen zu absorbieren, ist ein ausgezeichnetes Mittel zu ihrer Zersetzung gegeben. Indem die organische Materie hierdurch aufs engste mit Basen durchsetzt wird, sind die günstigsten Bedingungen für die Entwicklung der Bakterien und damit für die Zerstörung der organischen Massen geschaffen. In der Abspaltung der Säuren aus den Salzen ist aber andererseits die Möglichkeit geboten, den Boden mittels einer kleinen Menge Säure aufzuschließen, indem die entstehenden Salze immer von neuem zersetzt werden. So lange genügend kohlensaure Verbindungen im Boden vorhanden sind, von denen praktisch wohl nur das Kalziumkarbonat in Betracht kommt, können die bei der Absorption der Basen frei werdenden starken Mineralsäuren nicht schädlich wirken, da sie immer wieder durch den Kalk neutralisiert werden, wobei die unschädliche Kohlensäure entbunden wird. Auch hierfür ist also der kohlensaure Kalk im Boden notwendig. Setzt man zu Moorboden Gips, so gehen die Pflanzen zugrunde, augenscheinlich, weil sie von der Schwefelsäure getötet werden. Hat man aber dem Boden gleichzeitig kohlensauren Kalk zugefügt, so schädigt der Gips nicht. Je größer der Kalkgehalt des Bodens ist, um so leichter kann sich die organische Substanz mit Basen sättigen, und um so schneller wird die Zersetzung derselben erfolgen, wenn nur die sonstigen Verhältnisse danach angetan sind. Eine völlige Sättigung ist aber durchaus nicht erforderlich, damit die biologischen Prozesse der Mikroorganismen sich im Boden abspielen; das wird dadurch be-

wiesen, daß auch in sauren Böden eine Zersetzung der Streu stattfindet und die Bäume gut gedeihen können. Mit einer so feinen Methode wie die mit dem essigsauren Kalzium kann man sogar neben einem hohen Kalkgehalt die Gegenwart von ungesättigten Humussubstanzen nachweisen. Es wird empfohlen, sich über den Kalkgehalt des Bodens durch das Verhalten desselben gegen Salzsäure zu orientieren. Die Buchen am Iberg im Harz stehen bekanntlich auf Kalkboden, der mit Salzsäure stark aufbraust; trotzdem ließ sich mit der Lösung von essigsaurem Kalk nachweisen, daß 100 g Boden 0,369 g CaO absorbierten, obgleich große und kleine Kalkbrocken im Boden lagen. Etwas ähnliches konnte ich an zwei Ackerböden feststellen, die zufällig in meine Hände fielen. Mit Salzsäure brausten sie beide schwach auf, der eine noch etwas stärker als der andere. Aus der Lösung des essigsauren Kalziums absorbierten 100 g Boden aus dem mit Salzsäure schwächer aufbrausenden 0,103, aus dem anderen Boden 0,140 g CaO. Auf diesen Böden waren ganz normal Erbsen gewachsen. Es braucht also auch der Ackerboden nicht unter allen Umständen neutral oder alkalisch zu reagieren, damit die Pflanzen auf ihm gedeihen. Dies auf dem ersten Blick überraschende Verhalten, daß der Boden mit dem essigsauren Kalk oder der Baumann-Gullyschen Jodprobe sauer reagiert und gleichzeitig mit Salzsäure aufbraust, ist nicht verwunderlich. Der Kalk ist in kleinen festen Körnchen vorhanden, mit denen die organische Substanz des Bodens nicht unmittelbar in Verbindung treten kann; eine Sättigung ist erst durch eine Lösung des Kalks möglich, die aber nur allmählich erfolgt.

Solange der Boden so reich an Kalk ist, daß sich die für die Fruchtbarkeit erforderlichen Prozesse der Mikroorganismen in ihm abspielen können, wird selbst ein hoher Gehalt an absorptiv ungesättigter organischer Substanz nicht schaden, daraus erklärt es sich, daß ein und dieselbe Baumart auf sehr ungleich sauren Böden gedeihen kann. In bezug auf die Buche habe ich einige Bestimmungen ausgeführt. Es handelte sich in allen Fällen um alte Buchenbestände.

	100 g Boden absorbierten g CaO
1. Buchen vom Iberg im Harz bei Grund . .	0,369
2. Buchen aus einer rauchbeschädigten Waldung bei Gelsenkirchen	0,392

	100 g Boden absorbierten g CaO
3. Buchen aus dem rauchbeschädigten Probsteywalde bei Stolberg i. Rh. Oberste Schicht 0—5 cm	0,494
4. Buchen aus dem Bezirk Stufenheide im Aachener „Stadtwald“	0,738
5. Buchen aus dem Bezirk Dachsenhausen bei Braubach am Rhein	1,101

Trotzdem auf allen diesen Böden alte Buchen gut wuchsen, mögen Unterschiede in der Güte des Produktes vorhanden sein, was ich nicht in der Lage war zu entscheiden.

Soviel steht allerdings fest, daß, wenn die Entkalkung des Bodens zu weit geht, sich weder die phanerogamen Pflanzen, noch die Mikroorganismen normal entwickeln können. Auch hierfür habe ich ein sehr schönes Beispiel kennen gelernt. Es handelt sich um die oben (S. 136) erwähnten Weizen- und angrenzenden Böden. In der folgenden Zusammenstellung sind in der ersten Spalte die Mengen Kalk angegeben, welche 100 g lufttrockner Boden aus der essigsauren Lösung absorbierte, in der zweiten Spalte die Menge Kalk, welche der Boden nach der chemischen Analyse enthielt.

Bezeichnung der Böden	100 g Boden absorbierten g CaO	enthielten g CaO
1. Blöße, mit Gras und niedrigen Weizenpflanzen bestanden	0,261	0,19
2. Eine der vorigen unmittelbar benachbarte Stelle, wo man ein ebenso mangelhaftes Wachstum wie bei 1 erwarten sollte, mit befriedigendem Stande des Weizens . .	0,149	0,29
3. Vollständig unkrautfreie Stelle mit ganz niedrigen Weizenpflanzen	0,280	0,18
4. Unkultiviertes Land	0,261	0,13
5. Kahle Stelle im guten Weizenfeld . . .	0,187	0,19
6. Anderes Weizenfeld mit niedrigen Pflanzen	0,168	0,22

Die benachbarten guten Weizenfelder, deren Böden auch untersucht wurden, hatten einen Kalkgehalt von 0,94 und 2,66 %. Wenn der Kalkgehalt bis auf 0,44 oder 0,40 % sinkt, beginnt der Boden sauer zu werden. Die ungünstige Beeinflussung der Vegetation tritt

aber erst hervor, wenn die Azidität einen bestimmten Grad erreicht. Der Zusammenhang zwischen Sauerwerden des Bodens und seinem Kalkgehalt ist unverkennbar. Addiert man den Kalkgehalt des Bodens und die Menge Kalk, die er absorptiv zu binden vermag, so kommt bei den vorstehenden 6 Proben bei jeder annähernd der gleiche Wert von rund 0,40% Kalk heraus. Das schlechte Wachstum der Pflanzen in diesen Böden ist auf den Kalkmangel zu schieben, was durch Topf- und Feldversuche, in denen den Böden Kalk zugesetzt worden war, bestätigt wurde. In den Böden 1, 3 und 5 kamen die Erbsen entweder gar nicht oder nur kümmerlich, auf Zusatz von Kalk hingegen gut und trugen auch Knöllchen, die den anderen Exemplaren fehlten. Hier sind also die Knöllchenbakterien bereits bei einem Kalkgehalt ausgeblieben, bei dem sie, wenigstens an anderen Leguminosen auf unseren Versuchsflächen und an Erbsen auf den auf S. 123 erwähnten Waldböden aus dem westfälischen Kohlengebiet noch kamen. Bei diesen hat mit Ausnahme des Bodens Nr. 6 ein Zusatz von Kalk die Entwicklung der Erbsen und die Bildung der Knöllchen gefördert. An den gekalkten Exemplaren waren reichlich Knöllchen aufgetreten. In den Waldböden hatten alle Wurzeln Knöllchen bei einem Kalkgehalt von 0,056%, während auf den vorstehend besprochenen Ackerböden keine Knöllchen bei einem Kalkgehalt von 0,19% auftraten. Worin das seinen Grund hat, ist nicht ohne weiteres ersichtlich. Jedenfalls ergibt sich hieraus so viel, daß aus dem absoluten Kalkgehalt nicht mit Sicherheit auf das Gedeihen der Knöllchenbakterien und anderer Pflanzen geschlossen werden kann. Die chemische Analyse kann den Vegetationsversuch nicht ersetzen.

Unter dem Trockentorf vollziehen sich im Boden eigenartige Veränderungen, worauf P. E. Müller, Ramann u. a. aufmerksam gemacht haben. Der Boden wird ausgelaugt, er verliert von seinem mineralischen Gehalt, und diese Veränderung kündigt sich schon äußerlich in einer Farbenveränderung an. Es entsteht auf Sandböden der sogenannte Bleichsand. Vermutlich findet diese Auslaugung des Bodens durch das mit Kohlensäure beladene Regenwasser auf allen Böden statt, nur daß die Wirkung derselben ungleich ist. Wo durch die Tätigkeit der Tiere eine enge Mischung der organischen Substanz mit dem Erdreich stattfindet, da sind im Boden genug Substanzen vorhanden, um die Basen der in Lösung gegangenen Salze zu absorbieren und in dieser Erd-

schicht festzuhalten. Die wühlende Tätigkeit der Tiere im Boden wird weiter bewirken, daß trotzdem in etwas tiefere Regionen des Bodens geführte Teile wieder in höhere hinaufgebracht werden. Fehlen aber in der höheren Bodenschicht die festen absorptiv ungesättigten Substanzen, dann werden die durch Regenwasser inLösung gehenden organischen Verbindungen aus der Streu und dem Trockentorf auch aus der oberen Schicht wieder ausgewaschen und den tieferen Schichten zugeführt.

Wenn durch den Hüttenrauch der Boden bis zu einem bestimmten Grade entkalkt ist, so daß sich etwa auf ihm Trockentorf bildet, dann wird auch dieser Auslaugungsvorgang einsetzen und zur weiteren Entkalkung und damit zum Untergange der Bäume beitragen.

Die Rauchexpertise.

Auf S. 136 habe ich einen Fall mitgeteilt, daß in Weizenfeldern in der Nähe einer Hütte Blößen auftraten, die sich aus Kalkmangel im Boden erklärten. Obgleich der Weizen von den sauren Gasen getroffen wurde, was daraus hervorging, daß nicht fern von den Weizenfeldern Luzernepflanzen mit starken Blattschäden vorhanden waren, machte er keineswegs den Eindruck, als ob er durch die Säure in der Luft beschädigt worden wäre. Leider wurde der Weizen nicht auf seinen Gehalt an Schwefelsäure untersucht. Da aber zwei Jahre vorher auf den Feldern gleichfalls Weizen gestanden hatte, mag es gestattet sein, die damals für den Gehalt an SO_3 ermittelten Zahlen heranzuziehen.

Die Asche enthielt SO_3

	Körner	Stroh
Sommerweizen vom normalen Felde . . .	0,347 %	0,88 %
Sommerweizen vom kalkarmen Felde . .	0,377 „	1,16 „
Mittlere Zusammensetzung von Sommerweizen ohne Raucheinwirkung . . .	0,02 „	0,18 „

Ein wesentlicher Unterschied im Schwefelsäuregehalt der Asche ist zwischen den Weizenpflanzen vom normalen und vom kalkarmen Felde nicht vorhanden, was sich daraus erklärt, daß die Entfernung der Felder von der Hütte ungefähr gleich groß ist, die Pflanzen also in gleicher Weise von den sauren Gasen bestrichen worden sind. Diese Pflanzen haben, ohne daß sichtbare

Schäden oder beim Weizen vom normalen Felde Ernteverminderung eingetreten wäre, eine sehr starke Vermehrung des Schwefelsäuregehaltes in den Körnern und im Stroh erfahren. Bei den Körnern beträgt sie das 18fache, beim Stroh das 5—6fache gegenüber normalen Verhältnissen. Der Sommerweizen kann also große Mengen Säure aus der Luft aufnehmen, ohne Schaden zu leiden.

Derartige Erfahrungen werfen ein eigenartiges Licht auf die bisher geübte Verwendung der Schwefelsäurebestimmung in der Asche der von sauren Gasen betroffenen Pflanzen zur Beurteilung von Rauchschäden. Schon früher habe ich darauf aufmerksam gemacht, daß augenscheinlich manche Pflanzen aus der Luft unbeschadet große Mengen Säure aufnehmen können[1]). Ich führte die Krummholzkiefer an, die im Claustaler Rauchschadengebiet angepflanzt ist. In einer Entfernung von $^1/_2$ km von der Hütte enthielten die Nadeln in ihrer Asche 0,327 %, in einer Entfernung von $2^3/_4$ km 0,138 % SO_3. Der Gehalt der Asche an Schwefelsäure ist also um das Zwei- bis Dreifache gestiegen, ohne daß die Pflanze gelitten hatte. Gegen die einseitige Verwendung der Schwefelsäurebestimmungen zur Beurteilung von Rauchschäden haben sich auch andere Autoren wie Hartig und Borggreve gewandt und ihre Bedenken finden in solchen Erfahrungen eine wesentliche Stütze. Ehe man nicht weiß, wieviel Säure die einzelnen Pflanzenarten aus gleicher Verdünnung in der Luft aufnehmen können, ohne Schaden zu leiden, wird man selbst eine starke Zunahme in der Asche der betroffenen Gewächse nicht als Beweis für eine Schädigung der Pflanzen durch dieselbe ansehen dürfen, wenn sie auch kränkeln und zu leiden scheinen, da dies Verhalten ja, wie in unserem Falle, auch eine andere Ursache haben kann, nämlich die Bodenbeschaffenheit. Erst, wenn sich charakteristische Beschädigungen an den Blattorganen finden oder sich auf andere Weise eine Einwirkung der Säure feststellen läßt, ist man berechtigt, von einer direkten Schädigung der Pflanzen durch die Säure zu sprechen. Übrigens weiß man ja schon lange, daß bei starken akuten Schäden häufig gar keine bedeutende Zunahme der Säure in der Asche zu bemerken ist, was nicht befremdet, da kurze Einwirkung verhältnismäßig hoher Konzentrationen genügt, um diese Schäden hervorzurufen. Heute wird aber vielfach aus einer Steigerung des Gehaltes der Pflanzen an Schwefelsäure auf eine Schädi-

[1]) Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen. Berlin 1905. S. 379.

gung durch die Säure geschlossen, wenn die ganze Sachlage zugunsten von Rauchschäden spricht, ohne daß andere Anhaltspunkte vorhanden sind. Besonders die sichtbaren Beschädigungen fehlen aber meistens bei den rauchbeschädigten Wäldern in gewisser Entfernung von den Rauchquellen. Mir scheint es nicht gerechtfertigt, in diesen Fällen auf Grund der Ergebnisse der Analyse die Diagnose auf Schädigung der Gewächse durch die schweflige Säure zu stellen. In der Regel ist die Steigerung des Säuregehaltes in den Blattorganen nicht erheblich, vielfach beträgt sie nur das $1^1/_2$—3fache, wenn man daraufhin die Angaben bei Haselhoff und Lindau durchmustert. Manchesmal ist die Zunahme sehr viel geringer. Ein Beispiel wird das Gesagte illustrieren. Es handelt sich um die Zinkhütte bei Dortmund und zwar um Gerstenpflanzen, die wohl verzwergt, aber nicht beschädigt waren (S. 135). Die angeblich rauchbeschädigten enthielten in der Asche 7,45, die unbeschädigten 5,16 % SO_3. Eine derartige Säurezunahme scheint doch zu geringfügig, als daß man daraus auf Schädigung durch die Säure schließen könnte, wie es tatsächlich geschehen ist.

Daß die Schwefelsäurebestimmung zur Beurteilung von durch schweflige Säure hervorgerufenen Rauchschäden nicht ausreichend ist, dafür sprechen die Ergebnisse dieser Arbeit. Sind die Schädigungen der Vegetation auf die Wirkung der Entkalkung des Bodens durch die sauren Gase zurückzuführen, so kann die Untersuchung der Blattorgane auf den Gehalt ihrer Asche an Schwefelsäure niemals zum Ziele führen, da die Gewächse eben nicht durch die Säure geschädigt wurden, welche sie aufgenommen haben. Daß man übrigens zur Beurteilung von Rauchschäden sich nicht ausschließlich auf die chemische Analyse verlassen kann, scheint auch die Ansicht Sorauers gewesen zu sein, als er seine „Fangpflanzenmethode“ veröffentlichte. Im Umkreise eines der Schädigung beschuldigten Industrieetablissements sollen schnellwachsende, besonders empfindliche, einjährige Gewächse angebaut und diese der chemischen und mikroskopischen Analyse unterworfen werden. „Es werden dadurch meist die bei langlebigen Gewächsen sich oft geltend machenden Neben- und Folgeerscheinungen eliminiert. Nach den persönlichen Erfahrungen des Referenten dürfte die Buschbohne *(Phaseolus vulgaris)* eines der geeignetsten Fangpflanzenobjekte darstellen.“[1]) Man durfte aus dieser Darstellung

[1]) Sorauer und Ramann, Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen. Bot. C., Bd. LXXX, 1899.

schließen, daß die Bohnen sich durch hochgradige Empfindlichkeit auszeichneten, und daß sie selbst dann noch Beschädigungen erkennen ließen, wenn bei anderen Pflanzenarten keine mehr auftreten. Diesen Eindruck haben auch Haselhoff und Lindau (S. 120) gewonnen; sie empfahlen als weitere „Fangpflanzen" ihrer großen Empfindlichkeit wegen *Polygonum* und *Rheum*. „Jedenfalls müßte es eine Pflanze sein, die leicht und charakteristisch auf Rauch reagiert." Daß man von der Sorauerschen Fangpflanzenmethode Gebrauch gemacht hätte, dafür ist mir kein Fall aus der Literatur bekannt geworden. Ich habe seinerzeit die Bohne auf ihre Empfindlichkeit geprüft, doch kam ich nicht zu einem einwandsfreien Ergebnis, da das schlechte Wachstum der Pflanzen meines Erachtens nach nicht auf eine Einwirkung der sauren Gase in der Luft, sondern auf die ungünstige Bodenbeschaffenheit zurückzuführen war[1]). Ich säte deshalb auf den Versuchsflächen im Harz wiederum Bohnen aus, um die Frage dort zu prüfen, wo durch die Kalkung dieser Fehler ausgeschlossen war. Von einer besonders großen Empfindlichkeit habe ich aber nichts bemerken können[2]). Falls die Bohne als Fangpflanze überhaupt verwertbar ist, kann sie nur dort verwendet werden, wo es sich um verhältnismäßig große Säurekonzentrationen und um die Beschädigung wenig empfindlicher Pflanzen handelt, also um akute Schäden an Feld- und Gartenfrüchten, nicht aber bei chronischen Schäden, etwa an Waldbäumen.

In neuerer Zeit hat Sorauer seine Methode vom „Fangpflanzenbau" nicht nur modifiziert, sondern grundsätzlich geändert, wenn er sie folgendermaßen definiert. „Diese Methode besteht darin, daß in die als rauchbeschädigt verdächtigen Äcker Holzkästen von mindestens einem Kubikmeter Inhalt eingesenkt und mit Erdboden angefüllt werden, der aus rauchfreier Gegend entnommen ist. Dagegen wird die aus dem verdächtigen Acker ausgehobene Erde in ebensolchen Kästen auf einem bestimmt rauchfreien Acker eingegraben. Beide Kästen lasse ich zu derselben Zeit in genau derselben Weise mit Buschbohnen *(Phaseolus vulgaris)* besäen. Zeigen die Kästen mit gesundem Boden in dem rauchbeschädigten Acker die Merkmale der Vergiftung, so ist der Einfluß einer ober-

[1]) A. a. O. S. 375.

[2]) Näheres hierüber habe ich mitgeteilt in dem Aufsatz: Die Begutachtung von Rauchschäden und die Ursachen ihrer angeblichen Mangelhaftigkeit. Jahresber. d. Verein. f. angew. Botanik, Bd. 6, 1908, S. 61.

irdisch wirkenden Rauchschlange erwiesen. Sind in der rauchfreien Gegend die Pflanzen der Kästen mit der Erde aus der Rauchzone erkrankt, während die Umgebung gesund bleibt, so ist der Beweis erbracht, daß bereits der Boden in der Rauchzone vergiftet worden ist.“[1]) Die Quintessenz der jetzigen Fangpflanzenmethode ist also zu prüfen, ob bei Einwirkung von sauren Gasen durch den Rauch der Boden verändert worden ist, ob er soweit entkalkt worden ist, daß die Pflanzen nicht mehr normal auf ihm gedeihen können. Ich betrachte das als ein bedeutsames Zugeständnis, das Sorauer dem von mir seit 1905 vertretenen Standpunkt macht, dem er früher gar keine[2]), später eine wenigstens untergeordnete Bedeutung beimaß[3]).

Hat Sorauer schon gelegentlich die Untersuchung des Bodens bei Gutachten über Rauchschäden berücksichtigt, so wird man ihr auf Grund der Erfahrungen, die in dieser Veröffentlichung niedergelegt worden sind, künftighin regelmäßig seine Aufmerksamkeit zuwenden müssen. Die Berücksichtigung dieses Punktes bietet bei Rauchschäden an Ackergewächsen im allgemeinen keine Schwierigkeiten. Man kann verfahren, wie Sorauer vorschlägt. Man kann aber den Versuch auch etwas anders anstellen, wenn zu vermuten ist, daß es sich um Entkalkung handelt. Man kann einen vergleichenden Versuch auf dem Felde selbst ausführen, indem man eine kleine Parzelle kalkt und diese ebenso wie eine ungekalkte Parzelle besät. Hierbei braucht man sich nicht auf die Bohne zu beschränken, sondern kann auch andere Pflanzenarten wählen, selbst die, welche auf dem Felde angebaut werden, wenn es sich nicht um komplizierte Kulturen handelt. Aus den Wuchsverhältnissen der Pflanzen auf der gekalkten und ungekalkten Parzelle und aus dem Auftreten von Beschädigungen an den Blattorganen läßt sich beurteilen, wo die Ursache der Schädigungen zu suchen ist.

Schwieriger liegen die Verhältnisse bei Rauchschäden an Waldungen. Hier ist die Frage sehr schwer zu entscheiden, ob eine so weit gehende Entkalkung des Bodens eingetreten ist, daß ein Einfluß auf die Vegetation angenommen werden muß. Bei weitgehender Entkalkung des Bodens bezw. starker Zerstörung des Waldes wird man voraussichtlich auch mit Aussaaten auf dem un-

[1]) Die mikroskopische Analyse rauchbeschädigter Pflanzen. Sammlung v. Abhandl. über Abgase und Rauchschäden. Heft 7, S. 57, 1911.

[2]) Sorauer, Neuere Untersuchungen über den Einfluß der sauren Rauchgase auf die Vegetation. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten. XVI. Bd., 1906.

[3]) Sorauer, Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 3. Aufl., 1909, Bd. 1, S. 715.

gekalkten und gekalkten Boden zum Ziele gelangen. Wachsen die ausgesäten Pflanzen nicht mehr, so dürfte der Boden auch für die auf ihm wachsenden Bäume zu weit entkalkt sein, jedenfalls, wenn diese Anzeichen des Absterbens zeigen. Für weniger extreme Fälle wird es aber weiterer Untersuchungen bedürfen, um Wege ausfindig zu machen, auf denen man feststellen kann, ob eine schädliche Entkalkung des Bodens eingetreten ist. Die chemische Analyse reicht hierzu nicht aus. Es scheint, daß es sich gar nicht immer nur um den absoluten Kalkgehalt im Boden handelt. Eher ist damit zu rechnen, mit einer bakteriologischen Untersuchung des Bodens zum Ziele zu gelangen. Vielleicht gestatten auch die höheren Pflanzen, welche sich auf den geschädigten Waldböden finden, einen Schluß auf die Veränderung des Bodens. Auftreten von Moos, Gras, Farnkraut, Heidelbeere und Heide auf Böden, auf denen sie normalerweise nicht vorhanden sind, deutet möglicherweise auf die Entkalkung hin. Um aber ein solches Moment verwerten zu können, ist es notwendig, die Biologie aller dieser Gewächse erst etwas näher zu erforschen, damit nicht etwa einem Mangel an Kalk im Boden zugeschoben wird, was auf Feuchtigkeits- oder Belichtungsverhältnisse zurückzuführen ist.

Da künftig damit gerechnet werden muß, daß Schäden auch durch den Boden hervorgerufen werden können, so müssen die Schäden, welche durch einen unmittelbaren Einfluß der Säure auf die Blattorgane entstehen, um so vorsichtiger ermittelt werden. Ich habe oben gezeigt, daß die Bestimmung der aufgenommenen Säuremenge kein sicherer Maßstab dafür ist, daß die beobachteten Schäden tatsächlich die Folge der Einwirkung der Säure auf die Blattorgane sind. Man wird sich zur Ermittlung dieser Schäden nach anderen Methoden umsehen müssen. Voraussichtlich ließe sich die Frage entscheiden, wenn man ermittelte, ob das betreffende Rauchschadengebiet von sauren Gasen in ausreichend hoher Konzentration getroffen wird. Es wäre also die Luft auf ihren Gehalt an Säure zu untersuchen. Daß dieser Weg brauchbare Resultate liefern kann, haben Gerlach[1]) und ich[2]) durch

[1]) Bericht über die 47. Vers. des Sächs. Forstvereins, gehalten zu Eibenstock 1901. Tharand 1901, S. 134—137. — Die Ermittelung des Säuregehaltes der Luft in der Umgebung von Rauchquellen und der Nachweis seines Ursprunges. Wislicenus, Sammlung u. Abhandl. über Abgase u. Rauchschäden. Berlin 1909, Heft 3.

[2]) Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen. Berlin, Gebr. Borntraeger 1905, Kap. VII.

Versuche gezeigt. Die Methode müßte weiter ausgebildet und handlicher gestaltet werden. Die richtige Ermittlung beider Arten Schäden ist um so wichtiger, als sie in ihrer Tragweite ungleich zu bewerten sind. Gegen die Schäden, die durch eine direkte Beeinflussung der Blattorgane hervorgerufen werden, scheint sich nach dem heutigen Stande unserer Kenntnis nichts ausrichten zu lassen. Die durch die Bodenveränderung hervorgerufenen Schäden hingegen lassen sich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit durch Kalkung des Bodens bekämpfen. Dies Moment muß natürlich bei Bemessung der Entschädigungen berücksichtigt werden.

Je mehr die Forschung in der Rauchschadenfrage vertieft worden ist, um so komplizierter haben sich die Verhältnisse erwiesen und um so schwieriger gestaltet sich die Rauchexpertise. Unter diesen Umständen ist Sorauers Vorschlag beachtenswert, es möchten stehende Rauchkommissionen für die einzelnen Provinzen eingerichtet werden, damit die Gutachten von gut orientierten, in der Rauchfrage wohl erfahrenen Persönlichkeiten abgegeben würden. Den unleugbaren Vorteilen einer solchen Einrichtung würden aber unzweifelhaft große Nachteile gegenüberstehen. Es würde der auf diesem Gebiete bereits bemerkbar gewordene wissenschaftliche Dogmatismus durch eine solche Einrichtung noch mehr gefördert werden. Auch kann niemand bei Prozessen gezwungen werden — und die meisten Gutachten werden ja für Prozesse erstattet —, ausschließlich die Mitglieder einer solchen Kommission als Gutachter zu wählen. Dahingegen könnten solche Kommissionen sehr segensreich wirken, wenn die Interessenten sich dazu entschließen könnten, auf den Prozeßweg zu verzichten und sich gütlich über den Schaden zu verständigen. Es würde dabei viel Geld gespart werden, das zur Meliorierung des geschädigten Gebietes verwendet werden könnte, und die Streitigkeiten würden eher aus der Welt geschafft werden, was gleichfalls ein Gewinn wäre. Endlich müssen doch auch die Schädiger zu der Einsicht gelangen, daß es gar nicht mehr die Frage ist, ob die einzelnen Industrien schädigen — das steht für die meisten fest —, sondern, in welchem Grade und Umfang ein einzelnes Werk schädigt. Deshalb täten die meisten Schädiger gut, wenn nicht gerade zufällig knifflige Rechtsfragen damit verknüpft sind, sich gütlich mit den Geschädigten zu verständigen. Die Aufgabe der Zukunft ist nicht, Entschädigungen zu fordern und zu zahlen, sondern den Schäden vorzubeugen. Mit den durch Entkalkung des Bodens

hervorgerufenen wird es durch eine rechtzeitige Kalkung des Bodens möglich sein. Dazu ist aber eine gütliche Verständigung beider Parteien erforderlich.

Zusammenfassung.

Durch Kulturversuche im Claustaler Rauchschadengebiet ist der Nachweis geführt worden, daß die baumlos gewordenen Flächen so weit entkalkt sind, daß Baumwuchs auf ihnen unmöglich ist. Auf Zusatz von Kalk zum Boden wachsen die Bäume und nehmen bei ausreichendem Zusatz von Kalk normales Aussehen und normale Größenverhältnisse an. Nur auf den gekalkten Parzellen siedelt sich eine Unkrautflora an, die von den ungekalkten fern bleibt. Die Entkalkung muß durch die Säure, welche aus der Luft auf den Boden gefallen ist, hervorgerufen worden sein. Sie kann aber nicht erst nach dem Absterben der Bäume begonnen haben, da die Säure erfahrungsgemäß tief in die Bestände eindringt, wenn sie hier anfänglich auch unschädlich zu sein scheint, doch wirkt sie auf den Boden und wird dadurch die Ursache für das allmähliche Absterben der Bäume. Hierfür sprechen außer diesen allgemeinen Erwägungen noch verschiedene Umstände, so die Zunahme des Höhenwuchses der Fichten in den gekalkten Anflughorsten in der Grunder Oberförsterei, die mit der Entfernung von der Hütte zunehmende Besserung der Bodenbeschaffenheit auf den unbewaldeten Flächen und einige andere Erscheinungen, die in früheren Kapiteln gewürdigt wurden. Der Boden des Claustaler Rauchschadengebietes ist reich an Blei, das aus dem Flugstaub stammt. Durch besondere Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß das Blei nicht die Ursache der Zerstörung der Vegetation ist.

Irgendwelche sichtbare Beschädigungen, die sich durch Schäden an den Blattorganen bemerkbar machten, wurden an den Pflanzen auf den Versuchsflächen nicht beobachtet. Die Versuchsflächen waren 0,5—1,5 km von der Hütte entfernt, so daß also in diesen Entfernungen die Konzentration der Säure in der Luft schon so weit herabgesetzt ist, daß sie keine sichtbaren Schäden hervorrufen kann. In noch größerer Nähe der Hütte muß man allerdings mit dem Auftreten von akuten Schäden rechnen, doch darf darüber nicht übersehen werden, daß sich hier nicht minder die Entkalkung bemerkbar machen muß; ja hier muß die Entkalkung schnellere Fortschritte machen als in größerer Entfernung, wo die akuten

Schäden wegfallen. Möglicherweise wären letztere weniger gefährlich, wenn die Entkalkung ausgeschlossen wäre. Der ziemlich regelmäßige Wechsel von kahler Fläche, Heide, Gras und Wald zeigt die allmähliche Abnahme der Entkalkung des Bodens mit der Entfernung von der Hütte.

Aus den Kulturen und sonstigen Versuchen geht die Abhängigkeit des Wurzelwachstums der Pflanzen vom Kalkgehalt des Bodens hervor. Mit der Verminderung desselben wird das Wachstum der Wurzeln mehr und mehr verlangsamt, so daß die Bäume nicht mehr genügend große Wurzeln bilden und sich ausreichend mit Wasser versorgen können. Infolgedessen müssen entsprechend die oberirdischen Teile der Bäume verkleinert werden, sie sterben allmählich ab. Die Verminderung des Kalkgehaltes muß gleichfalls auf die Mikroorganismen, besonders auf die Bakterien im Boden einwirken, sind doch die für seine Fruchtbarkeit wichtigsten Bakterien, wie es scheint, an einen ziemlich bedeutenden Kalkgehalt im Boden gebunden, so die Bakterien, die an der Zersetzung der Zellhäute, an der Bildung der Salpetersäure und an der Stickstoffanreicherung des Bodens beteiligt sind. Durch die Entkalkung verläuft die Zersetzung der organischen Materie nicht mehr normal, besonders muß leicht Stickstoffmangel eintreten, und zu dem Wassermangel gesellt sich alsdann der Stickstoffmangel, um den Ruin der Bäume herbeizuführen.

Nachdem durch die vorliegenden Untersuchungen festgestellt worden ist, daß die Entkalkung des Bodens eine große Rolle bei der Schädigung der Vegetation durch saure Gase spielt, ist es notwendig, in jedem einzelnen Rauchschadengebiet zu ermitteln, ob und wie weit eine Entkalkung des Bodens statthat und wie weit mit der direkten Einwirkung der sauren Gase auf die Gewächse gerechnet werden muß. Da die Säure in einer gewissen Konzentration die Assimilation schädlich beeinflußt, kann das Absterben der Bäume auch durch eine Ernährungsstörung bedingt sein, die von hier ihren Ausgang nimmt. Wenn infolge einer verminderten Produktion von organischer Materie die Blattbildung von Jahr zu Jahr geringer wird, so muß auf diesem Wege ein Absterben der Bäume herbeigeführt werden. Es wird die weitere Aufgabe der Forschung sein, festzustellen, ob in jedem einzelnen Falle hierin oder in der Wirkung der Entkalkung des Bodens auf die Bäume die Ursache ihres langsamen Absterbens zu suchen ist. Meiner Ansicht nach wird man finden, daß meistens die Ursache in der

Bodenentkalkung liegt, doch verkenne ich nicht, daß auch Fälle vorkommen können, wo die Assimilationsstörung mit ihren Folgen die Zerstörung der Bäume verursacht. Aber selbst in diesen Fällen wird die Entkalkung als mitwirkender Faktor in Betracht kommen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung machen es sehr wahrscheinlich, daß man den üblen Wirkungen der sauren Gase wenigstens teilweise entgegenwirken kann, indem man dem Boden wieder Kalk zuführt. Doch müssen über diesen Punkt in den verschiedenen Rauchschadengebieten noch eingehende Untersuchungen angestellt werden. Wo es sich um Wald handelt, dürfte man dort mit dem Kalken Erfolg haben, wo keine sichtbaren Schäden an den Bäumen auftreten. In größerer Nähe der Rauchquellen wird der Erfolg unsicherer sein, wenngleich es sehr wohl möglich ist, daß die kräftigere Entwicklung der Pflanzen infolge Kalkung des Bodens eine größere Resistenz auch gegen unmittelbare Angriffe der sauren Gase bedingt. Wo aber auch mit der Kalkung keine Bäume mehr zu ziehen sind, da bleibt immer noch die Möglichkeit, Wiesen anzulegen oder gar Feldfrüchte und Gemüse zu ziehen, da diese gegen den direkten Angriff der Säure widerstandsfähiger zu sein scheinen als die meisten Holzgewächse. Das Gras geht ziemlich dicht an die Hütte bei Claustal heran und würde auf Kalkzusatz zum Boden noch viel dichter herangehen. Wenn, wie das für Acker- und Gemüsegewächse an sich erforderlich ist, das Land regelmäßig umgearbeitet und gedüngt wird, so werden weniger empfindliche Pflanzenarten sich auch in der Nähe der Rauchquellen ziehen lassen. Dafür sprechen die Fälle, wo der Versuch mit Erfolg gemacht worden ist, die aber wenig beachtet worden sind. Ich verweise auf die auf S. 131 erwähnten Kartoffelfelder bei der Altenauer Hütte. Sie standen 1911 sehr gut und wiesen keine Rauchbeschädigungen auf, obgleich in der Umgebung alle Vegetation bis auf Gras und Heide verschwunden war. Vor zwei Jahren fand ich in unmittelbarer Nähe einer Hütte bei Stolberg i. Rh. Gärten, welche Angestellte der Hütte angelegt hatten, und in denen gärtnerische und landwirtschaftliche Gewächse sehr gut standen, während der umliegende Wald auf ganz kümmerliche Eichenbüsche oder kahle Flächen reduziert war. Selbst im Claustaler Rauchschadengebiet ist etwas ähnliches zu beobachten. Hinter einem der Hüttengebäude liegt ein Garten, in dem außer Gemüsen auch Obstbäume gezogen werden. Natürlich ging es hier in so großer

Nähe der Rauchquelle nicht ohne Rauchschäden ab, aber immerhin muß doch der Schaden nicht so bedeutend gewesen sein, daß es sich nicht gelohnt hätte, den Garten zu bestellen. Auch beim Zechenhause Braunschweig im Innerstetal, etwa am Fuße der zweiten neuen Versuchsfläche im Einersberge, befindet sich ein kleiner Gemüsegarten, der Erträge bringt. Auf Grund solcher Erfahrungen darf man vertrauungsvoll an die Kultur selbst der den Hütten benachbarten Flächen herangehen, natürlich wird man in jedem einzelnen Fall zunächst durch kleine Versuche feststellen, ob auf einen Erfolg zu rechnen ist.

Die Umwandlung entwaldeten Landes in Wiesen, Äcker und Gärten bietet keine Schwierigkeiten, ebensowenig wie die Unterhaltung derselben; auch ist es leicht, sobald wieder Anzeichen von Kalkmangel auftreten, ihm durch Zusatz von Kalk zum Boden abzuhelfen. Nicht so einfach liegen die Verhältnisse, wenn es sich um eine Kalkung des Waldes handelt. Bei Neupflanzungen würde die Kalkung keine große Schwierigkeiten machen. Diese beginnen erst, wenn in den dichten Beständen eine Nachkalkung notwendig wird. Auch die Kalkung älterer Bestände ist nicht so leicht ausführbar wie die von Ackerland, doch sind die Schwierigkeiten nicht unüberwindlich. Auch kann man hoffen, daß neue Bewirtschaftungsformen ausfindig gemacht werden.

Als Material zum Kalken ist das zu nehmen, was am leichtesten erreichbar ist. Am empfehlenswertesten scheint mir fein gemahlener Kalkstein zu sein, den man wohl überall erhalten kann, wo Kalkwerke sind, oder Abfälle beim Kalkbrennen, sogenannte Kalkasche oder Staubkalk. Der fein gemahlene Kalkstein ist bequem zu handhaben und kann auch den Boden im Übermaß nicht schädigen wie etwa gebrannter Kalk.

Wo die Säurewirkung andauert, wird die Entkalkung wiederkehren, es muß deshalb von Zeit zu Zeit nachgekalkt werden, oder es muß von Haus aus dafür gesorgt werden, daß eine schädliche Entkalkung während der Bestandesdauer nicht eintreten kann. Ein Übermaß von feinem Kalksteinmehl zuzusetzen, dürfte kaum empfehlenswert sein, da manche Pflanzenarten einen hohen Kalkgehalt im Boden nicht vertragen. Doch könnte man in solchen Fällen daran denken, neben dem feinen Mehl auch grobkörnigeres Pulver zu verwenden. Der Kalkstein zersetzt sich nur sehr langsam, so daß ein solcher Zusatz bei richtiger Bemessung der Menge für den erforderlichen Zeitraum ausreichen würde, und die Zer-

setzung außerdem langsam genug vor sich ginge, ohne die Pflanzen durch einen zu hohen Kalkgehalt im Boden zu schädigen. Ohne Versuche ist es hier auch nicht getan. Ebenso müßte nach zweckmäßigen Methoden für eine Wiederkalkung gesucht werden.

Es wurde weiter darauf hingewiesen, daß manche Anzeichen für Stickstoffmangel in den entkalkten Böden sprächen, so daß vermutlich die Kalkung allein nicht in allen Fällen ausreicht, falls stickstoffbindende und salpetersäurebildende Bakterien zugrunde gegangen sind. Für Stickstoffzufuhr kann durch Aussaat von Leguminosen gesorgt werden. Sollten die Knöllchenbakterien fehlen, ließen sie sich durch Impfung dem Boden wieder zuführen, wie mir ein Versuch auf der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf gezeigt hat. Da aber die Fruchtbarkeit des Bodens auch hiervon allein nicht abzuhängen braucht, so müßten eventuell noch andere Bakterien dem Boden zugesetzt werden. Das wäre natürlich am einfachsten zu erreichen, wenn man etwas Boden ausstreute, der die Bakterien enthielte.

Gegen die Kalkung von Waldflächen wird man geltend machen, daß die aufgewandten Kosten nicht im Verhältnis zum Ertrage des Waldes stehen. Das mag für alle die Fälle gelten, wo für die durch den Hüttenrauch zerstörten Werte kein Ersatz geleistet wird. In allen anderen Fällen dürfte die Kalkung rentabel sein. Alle Rauchquellen, welche für Zerstörung von Wäldern Entschädigungen zahlen müssen, haben ein Interesse daran, sie mit verhältnißmäßig geringen Opfern zu erhalten; und dieses Interesse ist um so größer in den Fällen, wo um die Entschädigungen langwierige und kostspielige Prozesse geführt werden. Wo bei der Erhaltung der Wälder andere als rein materielle Gesichtspunkte mitspielen wie bei den Wäldern in der Nähe großer Städte, die eine hygienische Aufgabe zu erfüllen haben, spielt die Kostspieligkeit der Kultur gar keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Gelänge es in solchen Fällen, den Wald durch Kalkung zu erhalten, so wären die hierfür aufzuwendenden Mittel verschwindend gegenüber den Kosten für Herstellung von umfangreichen Garten- und Parkanlagen.

Ob sich mit Erfolg noch alte Bestände kalken lassen, darüber liegen bisher keine Erfahrungen vor. Sollte sich herausstellen, daß es nicht möglich ist, dann würde man besser tun, beschädigte Bestände beizeiten abzutreiben, um eine möglichst günstige Nutzung zu haben, und die kahlen Flächen nach Meliorierung des Bodens

frisch zu bepflanzen oder zu besäen. Es bieten sich hier der Waldwirtschaft neue Aufgaben, Methoden ausfindig zu machen, wie die durch Hüttenrauch entstandenen Ödländereien wieder in nutzbare Waldflächen verwandelt werden und Wälder, die bedroht sind, der Kultur erhalten werden können.

Unverkennbar bedarf es noch mancherlei Versuche, aber das Ziel ist alle Anstrengung wert, würde doch durch Beseitigung dieser Ödländereien der Industrie ein Stein vom Herzen fallen und unserer Volkswirtschaft ein großer Gewinn erwachsen. Dies Ziel ist so groß, daß sich alle Interessenten für verpflichtet halten sollten, mitzuwirken, um es zu erreichen. Dazu ist aber vor allen Dingen nötig, daß möglichst zahlreiche Versuche ausgeführt werden, damit eine ausreichende Grundlage zur Beurteilung gewonnen wird, ob mit der in Vorschlag gebrachten Bodenverbesserung eine Bekämpfung der Rauchschäden möglich ist.

2. Abschnitt.

Die Wirkung metallischer Gifte im Boden auf das Pflanzenwachstum.

Gelegentlich der chemischen Untersuchung des Bodens von der Versuchsfläche auf dem Hüttenkopf in der Oberförsterei Zellerfeld wurde festgestellt, daß der Boden des Rauchschadengebietes sehr reich an Blei ist, es wurden bis 2 % ermittelt. Das legte den Gedanken nahe, es könnten die Vegetationsstörungen durch eine Bleivergiftung hervorgerufen sein, anstatt durch den Kalkmangel, wenn es auch nicht sehr wahrscheinlich war. Die Bleisalze der Kohlensäure, der Salzsäure und der Sauerstoffverbindungen des Schwefels sind in Wasser unlöslich, allerdings scheint es eine absolute Unlöslichkeit überhaupt nicht zu geben, so daß auch aus diesen Salzen, die im Boden entstehen, geringe Mengen Blei in die Pflanzen gelangen könnten. Von größerer Wichtigkeit ist aber für die vorliegenden Verhältnisse die Tatsache, daß im Humus nach den Untersuchungen von Ramann[1]) organische Säuren vorhanden sind, die lösliche Bleisalze bilden könnten. Bei einem größeren Gehalt des Bodens an Blei kann in der Tat die Gefahr einer Bleivergiftung heraufbeschworen werden. Falls das mangelhafte Wachstum auf den Versuchsflächen durch die schädliche Wirkung des Bleis hervorgerufen würde, so ließe sich der günstige Einfluß der Kalkung nur so erklären, daß die freien organischen Säuren im Boden durch den Kalk gebunden würden und sich nicht durch Blei sättigten. Unter diesen Umständen war es erforderlich, darüber Sicherheit zu gewinnen, ob und in welchem Maße Bleiverbindungen schädigen.

Das Blei gelangt als Flugstaub auf den Boden, und da dieser auch bei anderen Blei- und Zinkhütten nicht fehlt, kann die Frage,

[1]) Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl., 1911.

ob und in welchem Maße er der Vegetation schadet, allgemeineres Interesse beanspruchen. Ich habe deshalb diese Frage einige Jahre hindurch verfolgt. Auch habe ich gleichzeitig Zink in die Untersuchung gezogen, da diesem Metall im Flugstaub die gleiche Rolle, wenn nicht gar eine gefährlichere zugeschrieben werden muß als dem Blei.

Da für Rauchschadengebiete wie das Claustaler nur saure Böden in Betracht kommen, so begann ich meine Untersuchungen mit saurem Boden, und zwar mit Heideerde, dem ich teils die beiden Metalle in metallischem Zustande, teils als Verbindungen zusetzte. Im Anschlusse daran stellte ich Topfversuche mit Sand an. Da die Topfversuche ihre Nachteile haben — die mit Heideerde waren auch in Töpfen ausgeführt worden — und mir die Heideerde noch nicht sauer genug zu sein schien, so habe ich später Versuche auf einem Moor angestellt. Gleichzeitig habe ich im Gartenboden die Wirkung der Gifte auf einen nicht sauren Boden geprüft, denn auch bei Ackerland muß mit der Möglichkeit einer Vergiftung gerechnet werden. Bei dieser letzten Gruppe von Versuchen wurde auch Kupfer berücksichtigt.

a) Topfversuche mit Heideerde.

Diese Versuche wurden im Jahre 1909 begonnen; sie wurden in Töpfen ausgeführt, weil ich nicht über große Mengen Heideerde verfügte. Es wurden Parallelkulturen mit und ohne Kalkzusatz angesetzt. Die Blumentöpfe faßten etwa 4 kg Boden. Als Kalkzusatz wurde kohlensaurer Kalk benutzt; es wurde von ihm soviel zugesetzt, daß der Boden $1^1/_4$ % kohlensauren Kalk als Zusatz erhielt. Als metallische Zusätze wurden gewählt: metallisches Blei und Zink, Bleiglätte, Mennige, Bleiweiß und Zinksulfat, und zwar waren diese Zusätze so bemessen, daß mit Ausnahme des Zinksulfates jeder Topf 2 % Metall enthielt. Dieser Gehalt war sehr hoch, aber es schien mir zweckmäßig zu sein, mit einem starken Metallzusatz zu beginnen, um einen deutlichen Ausschlag zu erhalten. Der Topf mit Zinksulfat enthielt mit Rücksicht auf die hohe osmotische Leistung des Salzes erheblich weniger Zink; er enthielt nur 0,9 % Zink.

Als Versuchspflanzen dienten Fichten und gelbe Lupine. Mit Ausnahme des Zinksulfats war für jede Pflanzenart eine besondere Serie Töpfe angesetzt worden. Die Aussaat erfolgte erst spät,

Anfang Juni. Die Töpfe standen im Garten in Reihen nebeneinander und waren bis zum Rande eingegraben, um die zu starke Erwärmung des Bodens zu verhindern. Sie wurden regelmäßig begossen.

1. Heideerde;
2. Heideerde und $1^1/_4$ % kohlensaurer Kalk;
3. Heideerde und 2 % metallisches Blei in ganz feinen Körnern;
4. Heideerde, 2 % metallisches Blei und $1^1/_4$ % kohlensaurer Kalk;
5. Heideerde und 2 % Zink als Zinkstaub;
6. Heideerde, 2 % metallisches Zink und $1^1/_4$ % kohlensaurer Kalk;
7. Heideerde und Bleiglätte;
8. Heideerde, Bleiglätte und $1^1/_4$ % kohlensaurer Kalk;
9. Heideerde und Mennige;
10. Heideerde, Mennige und $1^1/_4$ % kohlensaurer Kalk;
11. Heideerde und Bleiweiß;
12. Heideerde, Bleiweiß und $1^1/_4$ % kohlensaurer Kalk;
13. Heideerde und Zinksulfat.

Gegen Ende der Vegetationszeit ergaben die Versuche folgendes:

Die Lupinen hatten sich im allgemeinen besser in der gekalkten als in der ungekalkten Heideerde entwickelt, in ersterer war auch die Knöllchenbildung besser. Ein schädlicher Einfluß des metallischen Bleis auf die Entwicklung der Lupinen trat nicht hervor; dahingegen schien die Knöllchenbildung etwas benachteiligt. Der Kalkzusatz zu diesem Boden hatte eher ungünstig als günstig gewirkt. Das metallische Zink übte einen sehr nachteiligen Einfluß aus, der durch den Kalkzusatz nur wenig gemildert wurde. Die Pflanzen waren ganz kümmerlich. Noch schädlicher als das metallische Zink wirkte das Zinksulfat. Es waren einige Exemplare gekommen, die aber nur wenige Zentimeter hoch wurden.

Gegen die Verbindungen des Bleis erwiesen sich die Lupinen mehr oder weniger empfindlich. Es blieb freilich zweifelhaft, ob Mennige schädlich wirkte, aber für die Bleiglätte und das Bleiweiß war es unverkennbar. Die Pflanzen blieben klein und hatten ein kümmerliches Wurzelsystem und mangelhafte Knöllchenentwicklung. Beim Bleiglättezusatz fehlten die Knöllchen ganz oder waren außer-

ordentlich klein und sehr gering an Zahl. Nichtsdestoweniger hat sowohl bei der Bleiglätte wie beim Bleiweiß ein Teil der Pflanzen geblüht und gefruchtet. In der Mennige war die Entwicklung im wesentlichen nicht schlechter als in der Heideerde. Der Kalkzusatz hatte in allen Fällen die Entwicklung der Pflanzen günstig beeinflußt. Die Wurzeln wurden lang und dementsprechend auch die oberirdischen Teile größer. Die Knöllchenbildung war begünstigt.

Die Fichten waren aus irgend welchen Gründen im größeren Teil der Töpfe schlecht gekommen, so daß über ihr Verhalten gegen die Metalle und ihre Verbindungen mit Ausnahme des metallischen Bleis, Zinks und des Zinksulfats kein ausreichender Aufschluß erhalten werden konnte. Das metallische Blei war nicht nachteilig; der Kalkzusatz besserte das Wachstum nicht, sondern schien es eher zu beeinträchtigen. Das metallische Zink hingegen erwies sich als sehr schädlich. Die Pflanzen blieben klein und bildeten nur ein kümmerliches Wurzelsystem. Der Kalkzusatz besserte das Wachstum nicht erheblich, was ganz besonders im Vergleich mit den Pflanzen aus der Heideerde und der Heideerde mit Kalkzusatz hervortrat. Überraschenderweise hatte das Zinksulfat nicht so nachteilig gewirkt wie das Zink, obgleich es in Wasser leicht löslich ist. Das Wachstum der Fichten war durchschnittlich etwas besser als in der Heideerde mit Zusatz von metallischem Zink und etwas schlechter als in Heideerde mit Zusatz von metallischem Zink und Kalk.

Da die Versuche mit der Fichte über ihr Verhalten gegen die Verbindungen des Bleis nicht befriedigend ausgefallen waren, wurden sie im folgenden Jahre wiederholt. Die Reihe Töpfe, in denen sich im Jahre 1909 die Lupinen befunden hatten, wurden in diesem Jahre mit Hafer besät. Die Aussaat der Fichten und des Hafers erfolgte am 6. Juni. Die Töpfe standen an derselben Stelle im Garten wie im vorhergehenden Jahre unter Drahtgeflecht. Trotzdem müssen noch Vögel unter dasselbe eingedrungen sein, da ein anderer Grund für das schlechte Aufkommen der Fichtensamen am 5. Juli nicht ersichtlich war. Mit der nachteiligen Einwirkung der der Heideerde zugesetzten Stoffe konnte das schlechte Aufkommen nicht zusammenhängen, um so weniger als die Fichten am besten im Topf mit Zinksulfat standen. Am 21. Juli wurde deshalb dort, wo es nötig schien, nachgesät und Sorge getragen, daß ein Eindringen von Vögeln unter das Drahtgeflecht vollkommen ausgeschlossen war.

An diesem Termin wurden die Töpfe mit dem Hafer mit Ausnahme der zinkhaltigen herausgenommen. Nur in den zinkhaltigen Töpfen wurde ein nachteiliger Einfluß des Zusatzes beobachtet; dieser ungünstige Einfluß war schon am 5. Juli deutlich hervorgetreten. Die Pflanzen waren sehr kümmerlich und ihre Blätter gelblich. Im Topf mit Zink und Kalk waren die Exemplare etwas größer geworden als im Topf mit Zink allein. In den Topf mit Zinksulfat war kein Hafer ausgesät worden, sondern nur Fichte. In den anderen Töpfen waren die Halme so hoch geworden, daß sie nicht mehr unter dem Drahtgeflecht stehen konnten. Ihre Blätter waren normal grün. Irgend ein ungünstiger Einfluß des Bleizusatzes war nicht zu beobachten. Am Ende der Vegetationsperiode ergaben die Versuche mit Hafer folgendes Resultat. Die Pflanzen in den Töpfen mit Zinkzusatz waren tot, ohne fruktifiziert zu haben. In allen anderen Töpfen hatten alle Exemplare oder ein Teil derselben fruktifiziert. Die Zahl der zur Entwicklung gekommenen Exemplare war nicht überall die gleiche, wodurch der durchschnittliche Längenzuwachs vielleicht keine ganz vergleichbaren Werte gab. Auffällig war auch hier wieder die Erscheinung, daß die Pflanzen im Topf mit metallischem Blei besser gediehen waren als in dem Topf, der einen Kalkzusatz erhalten hatte. Im ersteren hatten 4 Halme im Durchschnitt eine Länge von 89, im zweiten 5 eine Länge von 68 cm. Hier waren die Halme etwa so hoch geworden wie in der Heideerde, wo sie im Mittel eine Höhe von 70 cm erreichten. Bei Bleiglätte und Mennige trat ein geringer fördernder Einfluß der Kalkung hervor. Im Mittel waren die Halme hoch:

		durchschnittlich
Bleiglätte	6 Exemplare	79 cm
„ und Kalk . . .	5 „	79 „
Mennige	5 „	65 „
„ und Kalk . . .	6 „	69 „
Heideerde		70 „

Hiernach scheint das Wachstum des Hafers durch die Mennige etwas beeinträchtigt zu werden. Ein abschließendes Urteil ließe sich nur aus umfangreicheren Versuchen mit gewichtsmäßiger Ermittlung des Ernteergebnisses gewinnen. Beim Bleikarbonat ist der Unterschied zwischen den gekalkten und ungekalkten Exemplaren bedeutender als bei der Bleiglätte und der Mennige. Die

Halmlängen verhalten sich im Durchschnitt wie 56 : 69. Bleikarbonat beeinflußt demnach das Wachstum des Hafers ungünstig.

Die Fichten sind in den Töpfen drei resp. zwei Jahre hindurch kultiviert worden. In dem Topf mit Zusatz von metallischem Zink waren die Fichten gleichzeitig zugrunde gegangen, so daß am 16. Oktober 1911, als die endgültige Besichtigung der Pflanzen stattfand, von ihnen nichts mehr übrig war. Es ergab sich folgendes:

1. Heideerde: schöne große Pflanzen mit blaugrünem Farbenton;
2. Heideerde und Kalk: kein wesentlicher Unterschied gegenüber 1; vielleicht sind die Exemplare in der reinen Heideerde etwas höher;
3. Heideerde und Bleiglätte: die Exemplare sind sehr schön kräftig und grün;
4. Heideerde, Bleiglätte und Kalk: es sind nur wenige Exemplare vorhanden; diese sind weniger kräftig als bei 3 und ihre Nadeln sind gelblich gefärbt;
5. Heideerde und Mennige: die Fichten sind schön gewachsen, mit grünen Nadeln;
6. Heideerde, Mennige und Kalk: kräftige, grüne Exemplare;
7. Heideerde und Bleikarbonat: ganz schöne Exemplare, aber nicht so hoch und grün wie bei 5;
8. Heeideerde, Bleikarbonat und Kalk: es sind nur wenige Exemplare vorhanden; diese sind kümmerlicher und gelblicher als bei 7;
9. Heideerde und metallisches Blei: die Exemplare haben etwas gedrungeneren Wuchs als in der Heideerde. Die Nadeln sind kürzer und dicker, ihr Farbenton ist grünlich.
10. Heideerde, metallisches Blei und Kalk: die Exemplare sind halb so niedrig wie bei 9, die Nadeln kürzer und dünner als bei 9. Der Farbenton der Nadeln ist gelblich;
11. Heideerde, metallisches Zink und Kalk: sehr kümmerliche Pflanzen mit gelblichen Nadeln. In dem entsprechenden Topf mit Zink waren zeitig alle Exemplare verschwunden.
12. Heideerde und schwefelsaures Zink: kleine Exemplare mit kurzen Nadeln.

Ein Zusatz von metallischem Zink zur Heideerde ist für die Fichten sehr schädlich und führt ihren Tod herbei. Bei Gegenwart von Kalk ist die giftige Wirkung vermindert, ein normales

Gedeihen aber auch hier ausgeschlossen. In dem Topf mit Zinksulfat sind kleine Fichten mit kurzen Nadeln entstanden. Daß das leichtlösliche Zinksulfat weniger geschadet hat als das metallische Zink, ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß es im Laufe der Zeit größtenteils ausgewaschen worden war, was aber nicht geprüft wurde.

Blei und seine Verbindungen sind für die Fichte weniger schädlich als das Zink. Der Zusatz von metallischem Blei beeinflußt den Habitus der Fichte; sie wird gedrungener und ihre Nadeln werden kürzer und dicker. Ein Zusatz von Kalk zum Blei wirkt nachteilig. Die verschiedenen Bleiverbindungen wirken sehr verschieden. Mennige ist ohne schädlichen Einfluß, ob Kalk zugegen ist oder fehlt. Bleiglätte ist einflußlos, Bleikarbonat hingegen beeinflußt das Wachstum ungünstig. Bei Zusatz von Kalk wird nicht nur die ungünstige Wirkung des Bleikarbonats gesteigert, sondern es wirkt dann auch die Bleiglätte schädlich. Worin in diesen Fällen die nachteilige Wirkung des Kalkzusatzes beruht, ist nicht zu sagen.

Nach den Erfahrungen mit dem Blei und seinen Verbindungen in Heideerde ist es sehr unwahrscheinlich, daß in den sauren Böden im Claustaler Rauchschadengebiet das Blei irgend eine Rolle spielt. Jedenfalls kann die günstige Wirkung des Kalkzusatzes zu diesen Böden nicht aus einer ausgleichenden Wirkung des Kalkes auf die giftige Wirkung der Bleiverbindungen erklärt werden. Auch kann das Ausbleiben aller Vegetation wie etwa auf der ersten neuen Versuchsfläche im Einersberge nicht durch eine Bleivergiftung bedingt sein. Eine Einwirkung der Bleiverbindungen auf die Vegetation ist nicht ausgeschlossen, aber sie ist jedenfalls nur untergeordneter Art.

b) Topfversuche mit einer Erdmischung unbekannter Zusammensetzung.

Die nachstehenden Versuche sollten mit Heideerde ausgeführt werden, doch mußte es unterbleiben, da keine zu erhalten war. Es wurde deshalb eine von einem Gärtner angebotene Erdmischung, die er als Ersatz für Heideerde benutzte, verwendet. Ich setzte voraus, daß sie sauer wäre und habe sie auf diesen Punkt nicht geprüft. Zufällig stellte sich nach Beendigung der Versuche heraus, daß die Erde soviel Kalk enthielt, daß sie auf Zusatz von

Salzsäure ziemlich stark aufbrauste. Trotzdem war teilweise ein Zusatz von Kalk nicht ohne Einfluß geblieben. Es wurden folgende Versuche angesetzt, bei denen wiederum große Töpfe von 4 kg Inhalt benutzt und in derselben Weise wie die Töpfe mit Heideerde behandelt wurden.

1. Erdmischung;
2. „ und 50 g kohlensaurer Kalk;
3. „ und 112 g Zinkoxyd;
4. „ , 112 g Zinkoxyd und 50 g kohlensaurer Kalk;
5. „ und 173 g kohlensaures Zinkoxyd;
6. „ , 173 g kohlensaures Zinkoxyd und 50 g kohlensaurer Kalk.

Der Kalkzusatz machte ungefähr $1^1/_4$ % kohlensauren Kalk und der Zinkgehalt $2^1/_4$ % aus. Die Versuche wurden mit Lupinen und Fichten im Jahre 1909 begonnen und im Jahre 1910 mit Weizen weitergeführt.

a) Lupinen. Am 1. September 1909 wurden die Wachstumsergebnisse festgestellt.

1. Erdmischung: Im ganzen waren 29 Exemplare gekommen, von denen 14 vertrocknet waren. Von den übrigen waren 3 ohne Blüten und Früchten mit einer Höhe der oberirdischen Teile von durchschnittlich 30 cm. Die Höhe der fruktifizierenden Exemplare betrug im Durchschnitt 43 cm. Die Wurzeln waren sehr lang und führten Knöllchen, mindestens ein großes an jedem Exemplar.
2. Erdmischung und Kalk: Im ganzen waren 68 Exemplare vorhanden, von denen 17 vertrocknet und 25 ohne Blüten und Früchte waren. Die durchschnittliche Höhe der oberirdischen Teile dieser letzteren Exemplare betrug 30,7, die der fruktifizierenden Exemplare 34 cm. Die Wurzeln dieser letzteren Exemplare waren lang; Knöllchen waren nur an den Exemplaren vorhanden, die 2 Hülsen trugen. Im allgemeinen gewann man den Eindruck, als wenn das Wachstum und die Entwicklung der Lupinen bei den Exemplaren in der Erdmischung mit Kalkzusatz nicht so gut waren wie in der Erdmischung ohne Kalkzusatz.
3. Erdmischung und Zinkoxyd: Von den 63 Exemplaren waren 24 vertrocknet und 22 ohne Blüten und Früchte. Die oberirdischen Teile dieser Exemplare waren durchschnittlich 32 cm

hoch, diejenigen der blühenden und fruktifizierenden 34 cm. Von diesen 17 Exemplaren fruktifizierte nur ein einziges. Die Entwicklung ist also mindestens verzögert. Die Wurzeln dieser 17 Exemplare waren verhältnismäßig kurz und ohne Knöllchen.

4. Erdmischung, Zinkoxyd und Kalk: Der Zusatz von Kalk hat die Verhältnisse nicht verbessert, vielmehr machte es den Eindruck, als wenn er sie verschlechterte. Von insgesamt 48 Exemplaren waren 39 abgestorben, 5 waren ohne Blüte und Frucht mit einer durchschnittlichen Höhe von 27 cm der oberirdischen Teile der Pflanze. Die übrigen 4 Exemplare fruktifizierten alle, ihre durchschnittliche Höhe der oberirdischen Organe betrug 32 cm. Das Wachstum der Stengel war schlechter als bei den Pflanzen, welche im Zinkoxyd wuchsen. Die Wurzeln waren kurz und ohne Knöllchen.
5. Erdmischung und Zinkkarbonat: Von 49 Exemplaren waren 18 vertrocknet, 17 ohne Blüten und Früchte mit einer durchschnittlichen Höhe der oberirdischen Teile von 26 cm. Die übrigen Exemplare fruktifizierten. Ihre oberirdischen Teile waren durchschnittlich 31 cm hoch, die Wurzeln lang, aber ohne Knöllchen.
6. Erdmischung, Zinkkarbonat und Kalk: Von den ursprünglich vorhandenen 65 Exemplaren waren 43 abgestorben, 14 ohne Blüte oder Frucht und 8 mit Hülsen. Die nicht fruktifizierenden Exemplare hatten eine durchschnittliche Höhe der oberirdischen Teile von 23 cm, die fruktifizierenden eine solche von 31 cm erreicht. Die Wurzeln waren lang, aber ohne Knöllchen.

In der hier gewählten Erdmischung litten also die Pflanzen stark unter der Einwirkung der Zinkverbindungen. Es spricht sich das im Höhenwachstum der Stengel, im Längenwachstum der Wurzeln, in der Knöllchenbildung, in der Neigung zum Blühen und zum Fruktifizieren aus. Die vegetative und reproduktive Tätigkeit leiden unter der Einwirkung des Zinks. Obgleich die mit Zinkoxyd und Zinkkarbonat versetzten Böden die gleiche Menge Metall enthielten, so war die Wirkung der beiden Verbindungen doch verschieden. Das Höhenwachstum der Stengel ist bei den Karbonatpflanzen, das Längenwachstum der Wurzeln bei den Zinkoxydpflanzen geringer.

In den Töpfen, die einen Überschuß an kohlensaurem Kalk enthielten, schädigten die Zinkverbindungen mehr als in den kalkärmeren Böden. Das Höhenwachstum der Stengel, besonders aber das Längenwachstum der Wurzeln, wird stark herabgedrückt. Möglicherweise handelt es sich hierbei um eine direkte Wirkung des Kalks; denn auch in der Erdmischung mit Kalkzusatz wuchsen die Pflanzen schlechter als in der Erdmischung allein.

b) Weizen (Winterweizen). Die im Jahre 1910 in dieselben Töpfe, in denen im Vorjahre die Lupinen gestanden hatten, ausgesäten Weizenpflanzen haben mehr gelitten als die Lupinen. Die Aussaat geschah am 10. Juni 1910. In jeden Topf wurden 20 Körner gelegt. Am 5. Juli ließ sich folgendes feststellen: In der Erdmischung mit und ohne Kalk waren die Pflanzen schön grün, in den Töpfen mit Zinkoxyd und Zinkkarbonat waren niedrige und gelb gefärbte Exemplare vorhanden, die im Laufe des Sommers zugrunde gingen, während die Pflanzen, welche einen Kalkzusatz neben den Zinkverbindungen erhalten hatten, noch am 20. August, als der Versuch abgebrochen wurde, vorhanden waren. Auch in diesen Töpfen waren die Pflanzen kümmerlich, doch standen sie besser im gekalkten Topf mit Zinkkarbonat als in dem mit Zinkoxyd. Sie hatten auch mehr Blätter. Die beste Vorstellung über die Entwicklung der Pflanzen geben die Längenverhältnisse der gesamten Pflanzen und der Wurzeln, wie sie an den gekalkten Exemplaren am 20. August ermittelt wurden.

Zinkoxyd:

Ganze Länge 32; 35; 22; 19; 28; 22; 30; 18,5; 18;
Wurzellänge 17; 22; 11; 17; 17; 14; 23; 6,5; 16,5;

Zinkkarbonat:

Ganze Länge 37; 42; 23; 36,5; 25; 32,5; 30; 30; 26,5; 35; 24; 34; 29;
Wurzellänge 27; 28; 17,5; 17,5; 18; 20,5; 19; 15; 15; 27; 13,5; 30; 19.

	Mittel	
	Ganze Länge	Wurzellänge
Zinkoxyd	25 cm	16 cm
Zinkkarbonat . . .	31 „	21 „

Aus diesen Mittelwerten geht hervor, daß der Weizen besser gewachsen ist in dem Zinkkarbonat als im Zinkoxyd, und zwar macht sich die Beeinträchtigung des Wachstums in noch höherem

Maße in der Wurzel als im Stengel bemerkbar, und in diesem Punkte zeigt der Weizen das gleiche Verhalten wie die Lupine.

c) Fichte. Schon im Jahre 1909 waren Fichten ausgesät worden, da aber die Pflanzen nicht recht gekommen waren, wurde der Versuch im folgenden Jahre wiederholt. Die Samen wurden am 10. Juni ausgesät, und am 21. Juli wurde hier und da, wo es notwendig schien, nachgesät. Die Pflanzen wuchsen zwei Vegetationsperioden hindurch. Die Untersuchung der Kulturen am 16. Oktober 1911 lieferte folgende Ergebnisse.

1. Zinkoxyd: Kümmerliche Exemplare mit kurzen gelben Nadeln. Viele Exemplare abgestorben. Die durchschnittliche Länge des Stengels betrug 3,7, die der Wurzel 5,5 cm.
2. Zinkoxyd und Kalk: Kümmerliche Pflanzen, die etwas besser standen als die ohne Kalkzusatz. Die durchschnittliche Länge der Stengel betrug 5, die der Wurzeln 9,5 cm.
3. Zinkkarbonat: Die Pflanzen standen erheblich besser als im Topf mit Zinkoxyd, aber sie waren verhältnismäßig niedrig und von ungleicher Höhe. Die höheren Exemplare waren grün, die kürzeren gelb gefärbt. Entsprechend der ungleichen Höhe waren auch die Wurzeln ungleich lang. Die kürzeren und gelb gefärbten Exemplare hatten kurze Wurzeln, deren Länge bis auf 5,5 cm herunterging. Die höheren und grünen Exemplare dagegen hatten sehr lange Wurzeln. Die längste Wurzel maß 49 cm. Nimmt man den Durchschnitt der gemessenen Exemplare, dann waren die Stengel 6,3 cm hoch und die Wurzeln 23,7 cm lang.
4. Zinkkarbonat und Kalk: Die Pflanzen sahen etwas besser aus als im ungekalkten Topf, aber auch hier war ein Teil der Exemplare gelb gefärbt. Durchschnittlich waren die Stengel etwas höher als bei den ungekalkten Exemplaren, die Wurzeln aber etwas kürzer. Das Verhältnis der Länge von Stengel zu Wurzel betrug 8 : 19,8 cm.

Die Fichten in der gekalkten und ungekalkten Erdmischung verhielten sich ungefähr gleich. Die Höhe der Stengel schwankte im Durchschnitt zwischen 7 und 9 cm und die Länge der Wurzeln zwischen 21 und 22 cm.

In dieser künstlichen Erdmischung erweist sich das Zinkoxyd als ein starkes Gift, dessen Wirkung durch Kalk nur etwas gemildert wird. Aber auch das Zinkkarbonat ist nicht ganz harmlos,

wie aus der gelblichen Färbung der Nadeln hervorgeht. Während die Länge des Stengels durch das Karbonat verkürzt wird, wird das Längenwachstum der Wurzeln begünstigt, so daß diese länger sind als bei den Pflanzen, welche einen Kalkzusatz erhalten hatten, und auch länger als bei denen, die in der ungekalkten Erdmischung wuchsen. Daneben kommen allerdings Exemplare mit sehr kurzen Wurzeln vor. Eine Erklärung für alle die Erscheinungen ist aus dem vorliegenden Untersuchungsmaterial nicht abzuleiten. So gering es ist, so geht aus ihm doch hervor, daß sich verschiedene Pflanzen sehr ungleich gegen Zink verhalten, wenn sie auch alle unter ihm leiden. Von Lupine, Weizen und Fichte ist der Weizen am empfindlichsten. Ein Zusatz von Kalk bessert sein Wachstum sowohl bei Gegenwart von Zinkoxyd wie bei Zinkkarbonat, während bei der Fichte nur eine Besserung im Zinkoxyd erzielt wurde, und bei der Lupine in beiden Fällen sogar eine Verschlechterung eintrat. Bei der Fichte wurde das Längenwachstum der Wurzeln durch den Kalkzusatz beeinträchtigt. Bei allen 3 Pflanzen wirkte das Zinkoxyd schädlicher als das Zinkkarbonat.

c) Topfversuche mit Sand.

Die an anderer Stelle (S. 109) beschriebenen Versuche mit Sand wurden auch auf die metallischen Gifte ausgedehnt, um festzustellen, ob sie in ihm anders auf die Pflanzen einwirkten. Die Versuche wurden gleichzeitig mit denen in Heideerde begonnen und in derselben Weise ausgeführt, so daß ein näheres Eingehen auf die Versuchsanstellung nicht erforderlich ist. Als Versuchspflanzen dienten wiederum Lupine und Fichte. Später wurden die Versuche auch mit Sonnenblume und Kiefer angestellt. Der Sand hatte folgende Zusätze erhalten:

1. Sand;
2. Sand und $1^1/_4$ % gemahlener kohlensaurer Kalk;
3. Sand und 2 % metallisches Blei;
4. Sand, 2 % metallisches Blei und $1^1/_4$ % kohlensaurer Kalk;
5. Sand und 2 % metallisches Zink als Zinkstaub;
6. Sand, 2 % metallisches Zink und $1^1/_4$ % kohlensaurer Kalk.

Der Sand war kalkarm.

a) Lupine. Am 2. August 1909 konnte folgendes festgestellt werden: Bei 2 waren die Lupinen üppig gekommen; bei 1 waren sie viel schwächlicher und kleiner. Bei 3 waren die Pflanzen sehr

kümmerlich geblieben und wenig zahlreich, während sie bei 4 durchschnittlich stärker entwickelt waren. In 5 hatten nur wenige Exemplare gekeimt, und ihre Entwicklung war kümmerlich. Kümmerlich, wenn auch etwas besser als bei 5 standen die Pflanzen bei 6. Um ein Durchwurzeln der Töpfe und ein Eindringen der Wurzeln in den Untergrund zu verhindern, wodurch die Ergebnisse getrübt worden wären, wurden die Töpfe 1, 2 und 4 auf Bretter gestellt.

Am 1. September traten die Unterschiede im Verhalten der Pflanzen noch mehr hervor. In Topf 1 waren die Pflanzen kümmerlich, ein Teil derselben war schon zugrunde gegangen. In Topf 2 war die Vegetation üppig, einige Exemplare schickten sich an zu blühen. In Topf 4 waren die Pflanzen durchweg kleiner als in 2, so daß es den Eindruck machte, als ob der Bleizusatz zum gekalkten Sande die Pflanze schädigte. In den Töpfen 5 und 6 mit Zinkzusatz waren die Lupinen zugrunde gegangen.

Am 15. September wurden die Pflanzen aus den ungekalkten Töpfen herausgenommen und zwischen Papier getrocknet, während die gekalkten Pflanzen noch etwas länger draußen blieben.

Die ungekalkten Exemplare hatten ein sehr kümmerliches Wurzelsystem. Im reinen Sand waren 10 Exemplare vorhanden mit einer durchschnittlichen Länge der oberirdischen Teile von 17,5 cm. Ein Exemplar hatte geblüht, aber nicht fruktifiziert. Im Sand mit Blei waren 6 Exemplare vorhanden, deren oberirdische Teile eine durchschnittliche Länge von 11 cm hatten. Knöllchen fehlten in beiden Töpfen. Nach den Größenverhältnissen der Pflanzen zu urteilen, scheint das metallische Blei der Lupine schädlich gewesen zu sein. In den Töpfen mit Kalkzusatz war die Zahl der Exemplare viel größer als in den ungekalkten Töpfen. Im Topf mit Blei waren 49, im Topf mit Sand 64 Exemplare vorhanden. Ein Teil dieser Pflanzen war vertrocknet, ein anderer Teil hatte nicht geblüht, ein Teil hatte geblüht und sogar Früchte angesetzt.

	Anzahl der Exemplare		Länge der oberirdischen Organe	
	Topf 4	2	4	2
Vertrocknet . .	23	30		
Ohne Blüten . .	8	13	23,5 cm	24 cm
Mit Blüten . . .	4	6	23,5 „	26 „
Mit Früchten . .	14	15	27 „	32 „

Die Wurzeln der Pflanzen aus diesen Töpfen waren lang, und diesem Umstande dürfte die verhältnismäßig günstige Entwicklung der Exemplare zuzuschreiben sein; für eine üppige Entwicklung waren die Bedingungen im nährstoffarmen Sande überhaupt nicht gegeben. Das spricht sich in der geringen Höhe der Lupinen und in der Kleinheit ihrer Früchte aus. Knöllchen fehlten den Wurzeln. Von den gekalkten Töpfen scheinen sich die Pflanzen mit Bleizusatz etwas schlechter entwickelt zu haben als im Sande ohne diesen, was auf eine nachteilige Beeinflussung der Lupinen durch das Blei hindeutet.

Im Sande werden also die Lupinen durch den Zusatz von metallischem Zink sehr stark beschädigt, und diese Schädigung kann auch nicht durch eine Kalkung aufgehoben werden. Auch durch einen Zusatz von metallischem Blei leiden die Pflanzen, doch kann diese Schädigung durch Kalk, wenn auch nicht ganz aufgehoben, so doch bedeutend gemildert werden.

b) Sonnenblume *(Helianthus annuus)* wurde im Jahre 1910 in die Töpfe ausgesät, in denen im Vorjahre die Lupine gestanden hatte. Nach einigen Wochen war der Stand der Pflanzen folgender:

1. Reiner Sand: Die vorhandenen Pflanzen waren klein, hatten ein sehr kümmerliches Wurzelsystem und meistens außer den Kotyledonen keine Blätter. Die durchschnittliche Gesamtlänge der Pflanzen betrug 9,6 cm.
3. Sand mit Blei: Stand und Aussehen der Pflanzen ähnlich wie im Sande (1), nur noch etwas kümmerlicher. Die durchschnittliche Gesamtlänge der Pflanzen betrug 8,7 cm.
5. Sand und Zink: Die meisten Pflanzen waren tot. Die Entwicklung der Pflanzen war kümmerlicher als im Sande mit Bleizusatz; das Wurzelsystem war noch unentwickelter. Die durchschnittliche Länge der Pflanzen betrug 7 cm.
6. Sand mit Zink und Kalk: Die Gegenwart von Kalk milderte die giftige Wirkung des Zinks kaum. Das Wurzelsystem war nur unbedeutend größer. Andere Blätter als die Kotyledonen waren nicht gebildet worden. Die durchschnittliche Länge der wenigen vorhandenen Exemplare betrug 8 cm.

Ganz anders hatte der Kalkzusatz in den Töpfen 2 und 4 gewirkt, also der Kalkzusatz zum Sande und zum metallischen Blei. Die Entwicklung der Pflanzen war durch den Kalkzusatz ganz

außerordentlich begünstigt worden. Die Wurzel war sehr viel länger geworden und auch reichlicher verzweigt. Die Blattbildung hatte gleichfalls Fortschritte gemacht. Die Gesamtlänge der Pflanzen in den beiden Töpfen betrug im Durchschnitt 35 resp. 27 cm, die Länge der Wurzeln 25 resp. 15 cm. Im Topf mit Blei ist also das Wachstum der Pflanzen durch den Kalkzusatz weniger gefördert worden als im reinen Sande, und zwar ist die Hemmung des Wurzelwachstums bedeutender als die des Stengels. Das Verhältnis ist für die Gesamtlänge 100 : 77 und für die Wurzellänge 100 : 60. Im Sandboden wirkt ein Zusatz von metallischem Blei auf die Sonnenblume schädlich.

c) Fichte. Die Fichten waren im Juni 1909 ausgesät worden. Bei einer Revision der Töpfe im Mai 1910 ließ sich folgendes feststellen:

1. Sand: Mit wenigen Ausnahmen alles tot.
2. Sand und Kalk: Zahlreiche Exemplare. Alle mit frischen Trieben und neuen Wurzeln.
3. Sand und Blei: Nur vereinzelte Exemplare noch am Leben, und diese hatten kümmerliche neue Triebe.
4. Sand mit Blei und Kalk: Es waren zahlreiche Pflanzen vorhanden, wenn auch nicht so zahlreich wie bei 2. Es machte den Eindruck, als ob die Exemplare bei 2 besser im Triebe ständen.
5. und 6. Die beiden Töpfe mit Zink: Von den Pflanzen war nichts mehr vorhanden.

Metallisches Zink ist also auch für die Fichte ein starkes Gift, dessen Wirkung nicht durch einen Zusatz von Kalk zum Boden aufgehoben werden kann. Auch das Blei scheint der Fichte etwas schädlich zu sein.

d) Kiefer. Die Kiefer war im Jahre 1910 ausgesät worden und wuchs zwei Jahre lang. Am 11. Dezember 1911 wurden die Töpfe untersucht:

1. Im Topf mit metallischem Zink waren die meisten Exemplare tot, die vorhandenen Exemplare kümmerlich, namentlich war das Wurzelsystem sehr kümmerlich entwickelt. Bei 5 Exemplaren betrug im Durchschnitt die Länge der Stengel 4,2 und die Länge der Wurzeln 1,7 cm.
2. Der Zusatz von Kalk zum zinkhaltigen Sand hatte sehr günstig gewirkt. Der Stengel war freilich nicht erheblich länger ge-

worden, wohl aber die Wurzel. Die Messung von 61 Exemplaren gab im Durchschnitt eine Stengellänge von 4,9 und eine Wurzellänge von 5,6 cm.

3. Im reinen Sand waren Stengel und Wurzel etwas länger geworden als im metallischen Zink. 27 Exemplare gaben im Durchschnitt eine Stengellänge von 5 und eine Wurzellänge von 3,2 cm.
4. Der Zusatz von Kalk zum reinen Sand hatte das Wachstum von Stengel und Wurzel gefördert und zwar stärker als beim Zinkzusatz. 45 Exemplare hatten im Durchschnitt eine Stengellänge von 5,2 cm und eine Wurzellänge von 6,2 cm.
5. Im Sande mit Bleizusatz waren die Kiefern etwas besser gewachsen als im reinen Sande. 12 Exemplare hatten im Durchschnitt eine Stengellänge von 5 cm wie beim reinen Sand, aber eine Wurzellänge von 4,3 cm.
6. Durch Zusatz von Kalk zum bleihaltigen Sande war das Wurzelwachstum stärker gesteigert worden als durch Zusatz von Kalk zum reinen Sande. 37 Exemplare hatten im Durchschnitt eine Stengellänge von 5,2 und eine Wurzellänge von 9,4 cm.

Im Nachstehenden sind die durchschnittlichen Stengel- und Wurzellängen in den verschiedenen Töpfen zusammengestellt.

	Stengellänge	Wurzellänge
1. Metallisches Zink	4,2 cm	1,7 cm
2. „ „ und Kalk .	4,9 „	5,6 „
3. Reiner Sand	5,0 „	3,2 „
4. „ „ und Kalk . . .	5,2 „	6,2 „
5. Metallisches Blei	5,0 „	4,3 „
6. „ „ und Kalk . .	5,2 „	9,4 „

Das metallische Zink ist auch für die Kiefer sehr giftig, allerdings nicht in dem Maße wie für Fichte, Lupine und Sonnenblume, die dadurch vollständig vernichtet werden. Obendrein wird die giftige Wirkung sehr stark gehemmt durch den Zusatz von Kalk. Dieser ermöglicht ja überhaupt erst ein kräftiges Wachstum der Pflanzen im Sande. Wenn es nun nicht so bedeutend ausfällt wie im gekalkten reinen Sande, so spricht sich darin der schädliche Einfluß des Zinks aus. Während bei den drei anderen Pflanzenarten auch das metallische Blei, wenn auch in schwachem Grade giftig wirkte, so ist davon bei der Kiefer nichts zu spüren; im Gegenteil, die Gegenwart des Bleis hat das Wachstum der

Wurzel erheblich gesteigert, bei Zusatz von Kalk um nahezu 50 % gegenüber dem gekalkten reinen Sande.

d) Versuche mit Moorboden.

Da die Versuche mit Heideerde in Töpfen kein abschließendes Urteil über das Verhalten der Blei- und Zinkverbindungen in sauren Böden auf die Pflanzen gestatteten, schien es mir zweckmäßig zu sein, die Versuche mit einem anderen sauren Boden zu wiederholen. Ich wählte dazu das sauerste bekannte Medium, den Moorboden, der in bezug auf Gehalt an sogenannten freien Humussäuren und Kalk unseren sauren Waldböden voraussichtlich näher kam als die benutzte Heideerde. Dank dem liebenswürdigen Entgegenkommen von Herrn Franz Zilkens in Köln-Ehrenfeld, wofür ich ihm hiermit meinen verbindlichsten Dank ausspreche, konnte ich diese Versuche auf einem Moor in der Eifel selbst ausführen, also unter normaleren Verhältnissen und unter Bedingungen, die den im Harz gegebenen entsprachen. Behufs Abbau war das Torfmoor trocken gelegt worden. Auch war schon die oberste Torfschicht abgebaut worden. Zur Torfgewinnung wird die Moorerde vorläufig entfernt und nach Abbau der obersten Torfschicht wieder darüber geworfen. An einer solchen Stelle wurden die Versuche ausgeführt. Die Moorerde wurde etwa einen Spaten tief, so gut es ging, umgearbeitet und mit den erforderlichen Zusätzen versehen. Eine größere Parzelle blieb ohne Zusätze, eine zweite größere Parzelle wurde mit Kalk, 4 Parzellen zu je 2 qm wurden mit Bleiglätte, Mennige, Bleiweiß und Zinkweiß versetzt. Vier weitere Parzellen zu 2 qm wurden gekalkt und mit denselben Metallverbindungen versehen. Die Kalkung geschah in allen Fällen mit Ätzkalk und zwar mit 105 kg auf 40 qm. Von den Blei- und Zinkverbindungen wurden je 5 kg auf den Quadratmeter genommen, so daß die einzelnen Parzellen folgenden Gehalt an Metall hatten:

Bleiglätte	1,23 % Blei
Mennige	1,23 % „
Bleiweiß	1,03 % „
Zinkweiß	1,07 % Zink

Da mir so größere Flächen zur Verfügung standen, konnte eine größere Zahl von Pflanzenarten in die Untersuchung gezogen werden und zwar Fichte, Kiefer, Krummholzkiefer, Buche, Eiche, Roteiche, Raps, Buchweizen, Sommerweizen, Sommerroggen, Hafer

und Lupine (*Lupinus luteus* L.). Die Aussaat geschah am 18. Mai 1910. Die Versuchsflächen wurden am 16. Juli, 10. September und 18. Oktober 1910 und am 2. Juni und 12. Oktober 1911 besichtigt.

Wie zu erwarten war, sind eher oder später alle Pflanzen auf der ungekalkten Moorfläche verschwunden, während auf der gekalkten Fläche alles kam und sich seine Zeit über hielt, nur erreichten die Pflanzen, wenigstens die Ackerpflanzen nicht normale üppige Ausbildung, was wohl auf dem Mangel anderer Nährstoffe zurückzuführen war; Kalk hatte das Wachstum der Pflanzen sehr begünstigt, natürlich aber nicht alles bewirken können. Dem Verhalten der Pflanzen auf der ungekalkten Moorfläche entsprach im wesentlichen das Verhalten der Pflanzen auf den Parzellen mit Zusatz der Metallverbindungen. Auf den Bleiparzellen waren mit Ausnahme der Nadelhölzer alle Pflanzen verschwunden, auf der Zinkparzelle waren auch diese zugrunde gegangen. Die Kalkung verzögerte auf der Zinkparzelle ihren Untergang, während auf den Bleiparzellen durch den Zusatz von Kalk auch andere Pflanzenarten als die Nadelhölzer am Leben blieben. Im Nachstehenden lasse ich die Versuchsergebnisse eingehender folgen.

Weizen. Am 16. Juli 1910 waren auf der ungekalkten Moorfläche ganz kümmerliche, wenige Zentimeter hohe Exemplare vorhanden, die am 10. September ganz zugrunde gegangen waren. Auf der gekalkten Fläche waren die Exemplare am 16. Juli freilich auch noch verhältnismäßig klein, aber sie sahen gesund und kräftig aus. Am 10. September hatten die Pflanzen bei weitem nicht ihre normale Größe erreicht, aber sie standen in geschlossener Reihe und hatten entsprechend dem niedrigen Halm kurze Ähren gebildet. Die Saat war unverkennbar nicht reiner Sommerweizen gewesen, denn am 2. Juni des folgenden Jahres hatten die Pflanzen wieder ausgetrieben und zum Teil auch Ähren gebildet. Die Halme waren am 12. Oktober 1911 von sehr verschiedener Höhe, durchschnittlich aber niedrig und die Ähren klein.

Auf der Zinkparzelle waren die Pflanzen am 16. Juli 1910 noch am Leben, sahen aber sehr kümmerlich aus; am 10. September waren sie tot. Der Kalkzusatz hatte die Wachstumsverhältnisse günstig beeinflußt. Am 16. Juli standen die Weizenpflanzen auf der gekalkten Parzelle besser als auf der ungekalkten Zinkparzelle, aber schlechter als auf der gekalkten Moorfläche. Am 10. September hatten die Pflanzen sich noch gehalten, standen aber schlechter als auf den Bleiparzellen. Zwei Exemplare hielten

sich sogar noch bis zum 2. Juni 1911; am 12. Oktober waren auch sie tot.

Am 16. Juli 1910 waren die Pflanzen auf den Bleiweißparzellen sehr kümmerlich, auf der Mennigeparzelle sehr klein und kümmerlich; auf der Bleiglätteparzelle standen sie sogar noch schlechter. Am 10. September waren die Pflanzen auf allen 3 Parzellen tot. Der Kalkzusatz hatte auch hier günstig gewirkt. So standen am 16. Juni die Pflanzen auf der Bleiweißparzelle ungefähr so gut wie auf der gekalkten Moorfläche. Auf der gekalkten Mennigeparzelle standen sie schlechter als auf der gekalkten Moorfläche, aber etwas besser als auf der gekalkten Bleiglätteparzelle. Am 10. September hatten die Pflanzen auf dieser Parzelle etwa fußhohe Halme und kleine Ähren. Auf den beiden anderen Bleiparzellen standen sie etwas besser. Am 2. Juni 1911 waren auf der gekalkten Bleiweißparzelle nur kümmerliche Exemplare übrig, während sie auf den beiden anderen gekalkten Bleiparzellen wieder austrieben. Am 12. Oktober 1911 waren die Pflanzen auf allen Parzellen tot.

Roggen. Am 16. Juli 1910 waren auf der ungekalkten Moorfläche ganz kümmerliche, wenige Zentimeter hohe Exemplare gekommen, die zum Teil aber schon wieder abgestorben waren. Am 10. September war alles tot. Auf der gekalkten Moorfläche waren am 16. Juli die Exemplare freilich verhältnismäßig niedrig, aber gesund und kräftig; am 10. September bildeten sie geschlossene Reihen und trugen vereinzelte Ähren. Unverkennbar war auch diese Saat keine reine Sommersaat gewesen. Am 2. Juni 1911 hatten die Pflanzen wieder ausgetrieben und einzelne Ähren gebildet. Am 12. Oktober trugen alle Pflanzen Halme von sehr verschiedener Höhe. Der höchste Halm war etwa 1 m hoch. Die Ähren waren durchschnittlich kurz, aber länger als beim Weizen.

Auf der Parzelle mit Zinkweiß waren am 16. Juli 1910 kümmerliche Pflanzen vorhanden; am 10. September waren sie tot. Der Kalkzusatz hatte eine Besserung herbeigeführt, dennoch sahen die Pflanzen viel kümmerlicher als auf der gekalkten Moorfläche aus. Am 10. September lebten die Exemplare noch, am 2. Juni des folgenden Jahres war alles abgestorben.

Auf der Bleiweißparzelle sahen die Pflanzen am 16. Juli sehr kümmerlich aus, standen aber noch etwas besser als auf der Zinkweißparzelle. Auf der Mennigeparzelle waren die Exemplare sehr klein und kümmerlich, und noch schlechter standen sie auf der Bleiglätteparzelle. Am 10. September war mit Ausnahme kümmer-

licher Überbleibsel auf der Mennigeparzelle alles tot. Im nächsten Jahre waren auch sie zugrunde gegangen.

Auf der gekalkten Bleiweißparzelle standen die Pflanzen etwa so gut wie auf der gekalkten Moorfläche, auf der gekalkten Mennigeparzelle schlechter und auf der gekalkten Bleiglätteparzelle wiederum schlechter als auf der gekalkten Mennigeparzelle. Am 10. September stand der Roggen auf der Bleiglätteparzelle kümmerlich, etwas besser auf der Mennigeparzelle. Hier hatte er sogar 2 Ähren. Auf der Bleiweißparzelle verhielt er sich wie auf der Mennigeparzelle. Am 2. Juni 1911 trieb der Roggen auf den gekalkten Parzellen mit Bleiweiß und Mennige wieder aus; auf der Bleiglätte standen nur noch die kümmerlichen Exemplare aus dem Vorjahre. Am 12. Oktober 1911 war von den Pflanzen nichts mehr vorhanden.

Hafer. Am 16. Juli 1910 ließ sich feststellen, daß auf der ungekalkten Moorfläche nur kümmerliche Exemplare von wenigen Zentimetern Höhe gekommen waren, die zum Teil schon wieder eingegangen waren. Am 10. September waren alle Exemplare tot. Auf der gekalkten Moorfläche waren die Haferpflanzen am 16. Juli gesund und kräftig, wenn auch verhältnismäßig niedrig. Am 10. September stand der Hafer in geschlossenen Reihen; jede Pflanze hatte einen Halm getrieben.

Auf der Parzelle mit Zinkweiß waren kümmerliche Pflanzen gekommen, die aber schon am 16. Juli alle tot waren, auf der gekalkten Zinkparzelle waren noch alle Exemplare am Leben, sie waren aber viel kümmerlicher als auf der gekalkten Moorfläche. Am 10. September standen die Exemplare besser als auf den gekalkten Bleiparzellen.

Auf der Parzelle mit Bleiglätte waren am 16. Juli die Pflanzen bereits wieder tot, auf den beiden anderen Parzellen waren sie noch am Leben, sahen aber sehr kümmerlich aus. Am 10. September waren die Pflanzen auf allen Parzellen tot.

Auf der gekalkten Bleiweißparzelle standen am 16. Juli die Exemplare etwas weniger gut als auf der gekalkten Moorfläche, auf der gekalkten Mennigeparzelle schlechter als auf der gekalkten Moorfläche und auf der gekalkten Bleiglätteparzelle wiederum schlechter als auf der gekalkten Mennigeparzelle. Am 10. September hatte der Hafer auf der gekalkten Bleiglätteparzelle fußhohe Rispen; auf der Mennigeparzelle standen die Exemplare noch besser und ihnen ungefähr gleich verhielten sich die von der gekalkten Bleiweißparzelle.

Buchweizen. Bei der Besichtigung am 16. Juli 1910 waren auf der ungekalkten Moorfläche nur sehr kümmerliche Exemplare von etwa 10 cm Höhe vorhanden. Am 10. September waren die meisten Exemplare tot, der Rest war sehr kümmerlich; am 18. Oktober waren auch diese zugrunde gegangen. Auf der gekalkten Moorfläche waren am 16. Juli die Pflanzen 15—20 cm hoch; sie blühten und standen in geschlossenen Reihen. Am 10. September war das Aussehen ungefähr das gleiche, nur daß die Exemplare jetzt Früchte trugen. Am 18. Oktober waren auch diese Pflanzen abgestorben.

Auf den beiden Parzellen mit Zinkweiß waren am 16. Juli alle Exemplare tot. Sie waren nur ganz kümmerlich gewesen, auch auf der gekalkten Zinkparzelle nicht wesentlich besser.

Auf der ungekalkten Parzelle mit Bleiweiß waren am 16. Juli die sehr kümmerlich entwickelten Exemplare noch am Leben. Am 10. September waren auch noch einige derselben vorhanden. Auf der gekalkten Parzelle hingegen standen am 16. Juli die Exemplare etwas weniger gut als auf der gekalkten Moorfläche. Am 10. September waren die Pflanzen von dem Aussehen und den Größenverhältnissen der gekalkten Moorfläche. Auf der ungekalkten Mennigeparzelle waren die Pflanzen am 16. Juli lebendig, sahen aber kümmerlich aus; am 10. September waren noch einige dieser kümmerlichen Pflanzen vorhanden. Auf der gekalkten Parzelle standen die Exemplare am 16. Juli etwas schlechter als auf der gekalkten Moorfläche, am 10. September waren die Pflanzen etwa von gleicher Beschaffenheit. Auf der ungekalkten Parzelle mit Bleiglätte standen am 16. Juli die Pflanzen etwas schlechter als auf der entsprechenden Parzelle mit Mennige. Am 10. September waren nur ganz kümmerliche Exemplare vorhanden. Auch auf der gekalkten Parzelle standen am 16. Juli die Pflanzen etwas schlechter als auf der gekalkten Parzelle mit Mennige. Am 10. September war der Stand des Buchweizens etwas schlechter als auf der gekalkten Moorfläche.

Raps war auf der ungekalkten Moorfläche überhaupt nicht gekommen; auf der gekalkten Moorfläche waren am 16. Juli niedrige Exemplare in geschlossener Reihe vorhanden. Am 10. September waren die Exemplare auch nur klein, nur einige etwas mehr isoliert stehende waren größer geworden. Am 2. Juni 1911 fanden sich mehrere blühende Exemplare vor.

Auf der gekalkten Parzelle mit Zinkweiß waren am 16. Juli kümmerliche Pflanzen vorhanden; auf der ungekalkten Parzelle fehlten sie. Am 10. September waren auf der ersteren einige Exemplare mittlerer Größe vorhanden.

Auf den ungekalkten Parzellen mit Bleiweiß, Mennige und Bleiglätte waren keine Pflanzen gekommen. Am 16. Juli 1910 war auf der gekalkten Bleiweißparzelle Raps vorhanden, der etwas weniger gut stand als auf der gekalkten Moorfläche. Am 2. Juni 1911 waren einige zum Teil blühende Exemplare vorhanden, die später Früchte getragen haben, wie bei der Besichtigung am 12. Oktober zu erkennen war. Auf der gekalkten Mennigeparzelle standen die Exemplare am 16. Juli 1910 so gut wie auf der gekalkten Moorfläche. Am 10. September waren einige sehr große Exemplare vorhanden. Am 2. Juni 1911 waren auf dieser Parzelle wieder Rapspflanzen vorhanden, die geblüht und gefruchtet hatten. Auf der gekalkten Parzelle mit Bleiglätte waren am 16. Juli 1910 durchschnittlich größere Exemplare vorhanden als auf der gekalkten Moorfläche.

Gelbe Lupine ist auf der ungekalkten Moorfläche ganz kümmerlich gekommen; die Pflanzen waren nur wenige Zentimeter hoch. Am 10. September waren noch mehrere Exemplare vorhanden; einige etwas größere Exemplare blühten sogar. Auf der gekalkten Moorfläche standen am 16. Juli 1910 kräftige, fußhohe Exemplare; am 10. September blühten oder fruchteten diese Exemplare.

Auf den beiden Parzellen mit Zinkweiß waren am 16. Juli 1910 nur kümmerliche Exemplare vorhanden. Am 10. September waren auf der gekalkten Parzelle noch zwei kümmerliche Exemplare übrig geblieben, von denen das eine blühte; auf der ungekalkten Parzelle war alles verschwunden.

Auf der Parzelle mit Bleiweiß waren am 16. Juli 1910 sehr kümmerliche Exemplare vorhanden; auf der gekalkten Parzelle standen sie ungefähr wie auf der gekalkten Moorfläche, etwas weniger kräftig. Am 10. September war der Stand der Pflanzen etwa wie auf der gekalkten Mennigeparzelle. Hier war eine geschlossene Reihe von Pflanzen vorhanden; diese selbst waren niedrig. Auch im übrigen verhielten sich die Pflanzen auf den Parzellen mit Mennige wie auf denen mit Bleiweiß. Auf der ungekalkten waren am 10. September zwei kümmerliche Exemplare vorhanden. Auf den Parzellen mit Bleiglätte sind die Lupinen durchgehends schlechter gekommen als auf denen mit Mennige.

Eiche hat gar keine Ergebnisse geliefert, da sie weder auf den gekalkten noch ungekalkten Parzellen mit Zinkweiß, Bleiweiß, Mennige und Bleiglätte gekommen war, während sie auf der ungekalkten Moorfläche in vereinzelten, auf der gekalkten Moorfläche in größerer Zahl von Exemplaren aufgetreten war. Ob dies Ausbleiben der Eiche auf die Gegenwart von Metallverbindungen zurückzuführen ist oder zufällige Ursachen hat, muß dahingestellt bleiben.

Roteiche (*Quercus rubra* L.). Auf der ungekalkten Moorfläche waren am 10. September 1910 12 Exemplare vorhanden. Die meisten waren kümmerlich, einige etwas kräftiger entwickelt. Am 18. Oktober waren zehn und am 2. Juni 1911 nur noch einige Exemplare vorhanden. Auf der gekalkten Moorfläche stand am 16. Juli eine Reihe gut aussehender Exemplare. Auch am 10. September und 18. Oktober war die Reihe noch geschlossen, waren die Exemplare ansehnlich. Am 2. Juni 1911 wurde eine größere Zahl von Exemplaren, am 12. Oktober wurden 12 Exemplare gezählt.

Auf den Zinkparzellen waren die Eichen gar nicht gekommen.

Auf den Parzellen mit Bleiweiß waren je 3 Exemplare am 16. Juli 1910 vorhanden. Am 10. September waren die 3 Exemplare auf der ungekalkten Parzelle vorhanden und zwar ein großes und zwei ganz kleine, auf der gekalkten Parzelle 6 Exemplare von mittlerer Größe. Diese waren aber im Laufe der Zeit eingegangen; denn am 2. Juni 1911 waren 3 Exemplare, am 12. Oktober 1 Exemplar vorhanden, während die Eichen von der ungekalkten Parzelle bereits am 2. Juni verschwunden waren.

Auf der ungekalkten Parzelle mit Mennige standen am 16. Juli 1910 6 Exemplare, die sich am 10. September auf 5 vermindert hatten, im folgenden Jahre aber verschwunden waren. Auf der gekalkten Parzelle waren ursprünglich 2, am 10. September sogar 5 Exemplare vorhanden, von diesen existierte am 12. Oktober 1911 noch 1 Exemplar.

Auf der ungekalkten Parzelle mit Bleiglätte waren sowohl am 16. Juli wie am 10. September 1910 2 Exemplare vorhanden, die im folgenden Jahre verschwunden waren, auf der gekalkten Parzelle am 16. Juli 6 und am 10. September 7 Exemplare; am 2. Juni 1911 wurden sogar 9 Exemplare gezählt, die sich am 12. Oktober auf 4 vermindert hatten.

Zink ist also ein starkes Gift für diese Eiche, auch das Blei ist giftig, wenn auch in geringerem Grade.

Rotbuche. Auf der ungekalkten Moorfläche waren am 16. Juli 1910 13 ziemlich gute Exemplare vorhanden. Am 10. September fanden sich noch 10 Exemplare von verhältnismäßig guter Entwicklung. Am 18. Oktober waren noch 8 Exemplare vorhanden; im nächsten Jahre war alles verschwunden. Auf der gekalkten Parzelle waren die Exemplare in größerer Zahl gekommen und bildeten fast eine geschlossene Reihe. Am 2. Juni 1911 waren aber nur noch 3 Exemplare übrig.

Auf den Parzellen mit Zinkweiß sind gar keine Buchen gekommen.

Auf der ungekalkten Parzelle mit Bleiweiß war am 16. Juli 1910 ein Exemplar vorhanden, das aber bereits am 10. September verschwunden war. Auf der gekalkten Parzelle war ein einziges Exemplar gekommen, das sich noch am 12. Oktober 1911 vorfand.

Auf der ungekalkten Parzelle mit Mennige war ein kleines Exemplar gekommen, das im zweiten Jahre verschwunden war; auf der gekalkten Parzelle war gar kein Exemplar gekommen. Auf der ungekalkten Bleiglätte-Parzelle war kein Exemplar gekommen, auf der gekalkten eins, das noch am 2. Juni vorhanden, während es am 12. Oktober verschwunden war.

Das Zink ist auch für die Buche ein starkes Gift; die Bleiverbindungen scheinen alle giftig zu sein, wenn auch in ungleichem Maße. Näheres läßt sich darüber bei der geringen Anzahl von Pflanzen, die gewachsen sind, nicht sagen.

Fichte. Schon am 16. Juli 1910 war ein großer Unterschied in der Entwicklung der Pflanzen auf der ungekalkten und gekalkten Parzelle festzustellen, der am 10. September noch deutlicher hervortrat. Auf der ungekalkten Parzelle war der Trieb kurz, das Wurzelsystem kurz und verhältnismäßig wenig verzweigt. Eine ungefähre Vorstellung von den Größenverhältnissen ergeben die Messungen einer größeren Anzahl von Exemplaren:

	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . .	4,3 cm	5,2 cm
„ Wurzellänge . .	3,9 „	8,8 „
Anzahl der Exemplare	15	20

Im Jahre 1911 war ein neuer Trieb gebildet worden; dementsprechend hatten sich auch die Wurzeln verlängert. Daß neben den gemessenen Exemplaren auch kleinere Exemplare vorkamen, geht daraus hervor, daß die am 2. Juni 1911 herausgenommenen

Exemplare von der gekalkten Moorfläche folgende Dimensionen besaßen: durchschnittliche Stengellänge von 10 Exemplaren 5,4, durchschnittliche Wurzellänge 6,3 cm.

Auf der ungekalkten Moorfläche hielten sich die Fichten lange, wenn sie sich auch immer mehr an Zahl verminderten. Am 2. Juni 1911 waren noch einige Exemplare vorhanden, am 12. Oktober waren aber alle Exemplare verschwunden. Um diese Zeit standen die Fichten auf der gekalkten Moorfläche noch in geschlossenen Reihen.

Auf den Parzellen mit Zinkweiß waren die Fichten am 16. Juli 1910 gewachsen, das Wurzelsystem der ungekalkten Fichten war aber sehr kümmerlich. Meistens war nur die Hauptwurzel vorhanden ohne Verzweigungen, nur vereinzelt war eine einzige Nebenwurzel getrieben worden. Auf der gekalkten Parzelle waren die Hauptwurzeln im Durchschnitt erheblich länger, auch hatten sie meistens mehrere, wenn auch ganz kurze Nebenwurzeln gebildet. Die Achsen waren auch etwas länger als bei den ungekalkten Exemplaren. Am 10. September machten die Exemplare auf der ungekalkten Parzelle einen ganz kümmerlichen Eindruck, das Wurzelsystem war ganz klein. Besser standen die Pflanzen auf der gekalkten Parzelle, aber schlechter als auf den Parzellen mit den Bleiverbindungen. Die Exemplare waren von sehr verschiedener Größe. Der Durchschnitt von 10 Exemplaren ergab für die Stengellänge 6,3 und für die Wurzellänge 6,5 cm. Am 2. Juni 1911 waren die ungekalkten Exemplare alle tot. Auf der gekalkten Parzelle waren die Fichten von sehr verschiedener Entwicklung; das Wurzelsystem war meistens im Vergleich zur Größe der oberirdischen Teile sehr klein. Die gemessenen Exemplare hatten durchschnittlich geringere Wurzellängen als die am 10. September 1910 gemessenen Fichten, was zeigt, wie ungleichmäßig das Wachstum der Pflanzen ist, worauf schon bei den Fichten von der gekalkten Moorfläche hingewiesen werden mußte. 17 Exemplare, deren Wurzellänge unter 40 mm betrug, hatten im Durchschnitt eine Stengellänge von 47 und eine Wurzellänge von 25 mm. 10 Exemplare, deren Wurzellänge 40 mm und mehr betrug, hatten im Durchschnitt eine Stengellänge von 48 und eine Wurzellänge von 54 mm. Die Verzweigung der Wurzeln selbst war nicht so sehr gering, aber die Verzweigungen waren sehr kurz; auch machten sie den Eindruck, als wenn sie der Hauptwurzel angedrückt wären. Am 12. Oktober 1911 waren die Fichten

auf der gekalkten Parzelle noch vorhanden, sahen aber schlecht aus, meistens waren sie bräunlich, nur vereinzelt noch grün gefärbt.

Auf der ungekalkten Parzelle mit Bleiweiß war das Wurzelsystem der Fichten am 16. Juli 1910 sehr kümmerlich. Am 10. September waren die Pflanzen noch vorhanden, ihr Wurzelsystem war sehr ungleich ausgebildet. Größtenteils war es klein, doch kamen auch Exemplare mit größerem Wurzelsystem vor. Durchschnittlich war das Wurzelsystem kurz, bald ganz kümmerlich, bald reicher verzweigt. Am 2. Juni 1911 waren noch Fichten vorhanden, vermutlich diejenigen mit dem größeren Wurzelsystem aus dem Vorjahre. Die Fichten hatten im Durchschnitt von 10 Exemplaren eine Stengellänge von 4,3 und eine Wurzellänge von 5,3 cm. Die Exemplare auf der gekalkten Parzelle standen am 16. Juli 1910 nahezu so gut wie auf der gekalkten Moorfläche. Die Untersuchung der Pflanzen am 10. September auf ihre Wurzelverhältnisse zeigte, daß die Wurzeln durchgehends länger waren als die der Fichten von der ungekalkten Parzelle, wenn natürlich auch hier Exemplare von sehr verschiedener Größe mit sehr ungleich entwickeltem Wurzelsystem vorkamen. Einem längeren Wurzelsystem entsprach auch ein höherer Stengel. Am 2. Juni 1911 wurden auch gekalkte Exemplare gemessen. Im Durchschnitt von 19 Exemplaren hatte die Fichte eine Stengellänge von 5 und eine Wurzellänge von 7,8 cm gegenüber 4,3 und 5,3 cm bei den ungekalkten Exemplaren. Die gekalkten Fichten waren reichlicher verzweigt als die ungekalkten, bei denen auch die Verzweigungen kürzer blieben, wodurch das Wurzelsystem einen ähnlichen Eindruck machte, wie er oben für das Wurzelsystem der gekalkten Zinkexemplare beschrieben wurde.

Am 16. Juli 1910 war bereits ein deutlicher Unterschied in der Entwicklung zwischen gekalkten und ungekalkten Exemplaren auf den Parzellen mit Mennige vorhanden. Die Fichten kamen auch auf der ungekalkten Parzelle durch den Winter. Am 2. Juni 1911 wurden gekalkte und ungekalkte Exemplare gemessen.

	Ungekalkt	Gekalkt
Stengellänge	3,9 cm	4,5 cm
Wurzellänge	2,7 „	8,4 „
Anzahl der gemessenen Exemplare .	21	10

Das Wurzelsystem der gekalkten Exemplare war viel stärker verzweigt als das der ungekalkten; bei letzteren waren die Ver-

zweigungen auch kurz, wodurch das Wurzelsystem etwas Starres im Aussehen bekam. Am 12. Oktober 1911 waren die Fichten auf der ungekalkten Parzelle vorhanden, doch waren viele von ihnen rot und tot, während sie auf der gekalkten Parzelle viel besser standen.

Auf der ungekalkten Parzelle mit Bleiglätte war die Entwicklung der Fichten an jedem Termin bedeutend zurück hinter der der Fichten auf der gekalkten Parzelle. Vergleichende Messungen am 2. Juni 1911 ergaben folgende Werte:

	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge	52 mm	41 mm
„ Wurzellänge	110 „	48 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	18	18

Bei den ungekalkten Exemplaren war die Verzweigung unbedeutend und waren die einzelnen Verzweigungen kurz.

Kiefer. Am 16. Juli 1910 war bereits ein kleiner Unterschied in der Entwicklung zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren der Moorfläche festzustellen. Am 10. September wurden mehrere Exemplare gemessen:

	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge	4,58 cm	5,6 cm
„ Wurzellänge	6,51 „	7,1 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	12	20

Unter den ungekalkten Pflanzen waren einige mit ganz kurzen Wurzeln; bei den gekalkten Exemplaren waren die Verzweigungen der Wurzeln ziemlich zahlreich, doch von sehr verschiedener Länge. Am 2. Juni waren die Kiefern bis auf vereinzelte Exemplare auf der ungekalkten Moorfläche abgestorben, während sie auf der gekalkten in geschlossener Reihe standen. 21 Exemplare der gekalkten Kiefern hatten eine durchschnittliche Stengellänge von 5,9 cm und eine durchschnittliche Wurzellänge von 9,3 cm. Die Verzweigung war ziemlich reichlich, die Nebenwurzeln waren ziemlich lang, aber auffallend stark der Hauptwurzel angepreßt; auch machte es den Eindruck, als ob die Nebenwurzeln stärker wüchsen als die Hauptwurzel. Auf der ungekalkten Moorfläche waren am 12. Oktober 1911 noch einige Exemplare vorhanden, während die Kiefern auf der gekalkten Moorfläche ganz geschlossene Reihen bildeten.

Auf den Zinkweißparzellen war der Unterschied zwischen den gekalkten und ungekalkten Kiefern am 16. Juli 1910 sehr bedeutend. Bei den ungekalkten Exemplaren war die Hauptwurzel ganz kurz, kaum entwickelt; bei den gekalkten Exemplaren waren die Wurzeln ziemlich lang, es waren auch ziemlich viele aber kurze Nebenwurzeln vorhanden. Nur vereinzelt traten auf beiden Parzellen rötlich gefärbte Nadeln auf. Am 10. September hatten sich die ungekalkten Exemplare nicht wesentlich verändert. Die Wurzeln waren ganz kümmerlich, nicht verzweigt oder besaßen nur vereinzelte Nebenwurzeln. Die gekalkten Exemplare hingegen hatten ein verhältnismäßig großes Wurzelsystem mit einer durchschnittlichen Stengellänge von 5,33 cm und einer durchschnittlichen Wurzellänge von 7,24 cm bei 21 Exemplaren. Von den älteren Nadeln waren manche rotbraun. Am 2. Juni 1911 waren die Kiefern auf der ungekalkten Parzelle tot, während auf der gekalkten Parzelle selbst noch am 12. Oktober 1911 Exemplare vorhanden waren, die aber sehr schlecht aussahen. Die meisten waren bräunlich, vereinzelte nur noch grün.

Auf den Bleiweißparzellen war ein deutlicher Unterschied zwischen ungekalkten und gekalkten Exemplaren am 16. Juli 1910 vorhanden. Die Hauptwurzel der letzteren war länger als die der ungekalkten, die Verzweigung reichlicher, aber auch bei den gekalkten Exemplaren unbedeutend. Die ungekalkten und gekalkten Pflanzen wurden am 10. September 1910 und 2. Juni 1911 gemessen.

10. September 1910	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,11 cm	5,56 cm
„ Wurzellänge . . .	2,5 „	13,54 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	33	25
2. Juni 1911		
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,84 „	5,23 „
„ Wurzellänge . . .	5,21 „	13,53 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	14	17

Der Unterschied im Wachstum der Wurzeln auf gekalktem und ungekalktem Boden ist demnach sehr bedeutend. Die gekalkten Exemplare haben nicht nur bedeutend längere Wurzeln als die ungekalkten Bleiweißexemplare, sondern auch als die Exemplare von der gekalkten Moorfläche. Die Wurzeln der ungekalkten Exemplare von der Bleiweißparzelle waren zum Teil sehr kurz und dann gar nicht oder wenig verzweigt; bei längeren Wurzeln war

auch die Verzweigung bedeutender. Bei den gekalkten Exemplaren waren nicht nur die Hauptwurzeln bedeutend länger, wie die oben aufgeführten Zahlen zeigen, sondern die Verzweigungen reichlicher und länger. Die älteren Nadeln waren am 10. September und 2. Juni 1911 vielfach rotbraun. Am 2. Oktober 1911 waren auf der ungekalkten Parzelle noch einige Exemplare, auf der gekalkten Parzelle erheblich mehr vorhanden, doch waren viele von ihnen gelblich gefärbt.

An allen Terminen war der Unterschied in der Entwicklung der gekalkten und ungekalkten Exemplare auf den Mennigeparzellen deutlich. Es wurden am 2. Juni einige Messungen ausgeführt.

	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,65 cm	5,1 cm
„ Wurzellänge . . .	4,95 „	12,2 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	18	12

An den ungekalkten Exemplaren waren zum Teil ziemlich reichlich, kurze Nebenwurzeln aufgetreten. Auch am 12. Oktober 1911 waren noch auf der ungekalkten Parzelle Exemplare vorhanden, die ein klein wenig besser standen als auf der entsprechenden Parzelle mit Bleiweiß. Auf der gekalkten Parzelle standen auch an diesem Termin die Kiefern besser als auf der ungekalkten Parzelle, auch etwas besser als auf der gekalkten Bleiglätteparzelle.

Auf den Parzellen mit Bleiglätte trat ein Unterschied zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren bereits am 16. Juli 1910 hervor. Am 10. September 1910 und am 2. Juni 1911 wurden mehrere Exemplare gemessen:

10. September 1910	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,6 cm	
„ Wurzellänge . . .	2,8 „	
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	10	
2. Juni 1911		
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,05 „	5,4 cm
„ Wurzellänge . . .	3,9 „	12,3 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	14	20

Die Wurzeln waren bei den gekalkten Exemplaren bedeutend länger als bei den ungekalkten und auch länger als bei den ge-

kalkten Exemplaren von der Moorfläche. Bei den ungekalkten Exemplaren waren die Verzweigungen kurz und dicht der Hauptwurzel angedrückt, so daß das Wurzelsystem reisbesenartiges Aussehen erhielt. Die gekalkten Exemplare hatten ein ziemlich stark verzweigtes normales Wurzelsystem. Am 12. Oktober 1911 waren auf der ungekalkten Parzelle noch einige, auf der gekalkten ziemlich viele und große Exemplare, bei denen manche Nadeln bis zur Hälfte abgestorben waren, vorhanden.

Es macht den Eindruck, als wenn der Zusatz der Bleiverbindungen zum Boden das Längenwachstum der Wurzeln auf den gekalkten Parzellen befördert, das auf den ungekalkten Parzellen verzögert. Die Bleiglätte ist die schädlichste Verbindung, das Bleiweiß die wenigst schädliche.

Krummholzkiefer. Auffallende Unterschiede in der Entwicklung der Wurzeln zwischen gekalkten und ungekalkten Exemplaren auf der Moorfläche waren am 16. Juli 1910 nicht vorhanden. Auch am 10. September waren die Unterschiede nicht erheblich, wie aus den Messungen hervorgeht:

	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,35 cm	4,27 cm
„ Wurzellänge . . .	8,45 „	10,00 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	10	15

Der Unterschied zwischen den Pflanzen ist also nicht erheblich oder gar gleich Null. Rotbraune Nadeln kamen auf beiden Moorflächen vor. Am 2. Juni 1911 waren nur einige wenige Exemplare auf der ungekalkten Moorfläche vorhanden, einige hatten sich sogar noch am 12. Oktober gehalten. Auf der gekalkten Fläche bildeten die Krummholzkiefern am 2. Juni eine geschlossene Reihe; die Pflanzen hatten im Durchschnitt von 10 Exemplaren eine Stengellänge von 4,85 und eine Wurzellänge von 10,55 cm. Am 12. Oktober 1911 waren die Krummholzkiefern noch vorhanden, aber sie standen mäßig.

Auf der Parzelle mit Zinkweiß hatten die Pflanzen am 16. Juli 1910 ganz kurze Wurzeln; die Hauptwurzel war eben getrieben worden. Die gekalkten Exemplare hatten ziemlich lange Wurzeln mit kurzen Nebenwurzeln. Am 10. September 1911 wurden gekalkte und ungekalkte Exemplare gemessen; überraschenderweise war der Unterschied in der Wurzellänge nicht so bedeutend, als erwartet wurde.

10. September 1910	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . . .	3,55 cm	4,57 cm
„ Wurzellänge . . .	1,65 „	3,48 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	11	20
2. Juni 1911		
Durchschnittliche Stengellänge . . .		4,63 „
„ Wurzellänge . . .		6,11 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .		23

Das Wurzelwachstum auf der ungekalkten Parzelle war sehr kümmerlich; deshalb wurden auch am 2. Juni keine Messungen ausgeführt. Die Messungen der gekalkten Exemplare zeigten eine Zunahme des Wurzelwachstums. Eine Verzögerung des Wurzelwachstums hatte auch auf der gekalkten Parzelle stattgefunden, wie ein Vergleich mit den Exemplaren von der gekalkten Moorfläche erkennen ließ. Am 12. Oktober 1911 waren auf der ungekalkten Parzelle alle Exemplare verschwunden; auf der gekalkten Parzelle waren Exemplare vorhanden, sie sahen aber sehr schlecht aus, meistens waren sie bräunlich, nur vereinzelt noch grün.

Auf den Bleiweißparzellen war schon am 16. Juli 1910 ein Unterschied zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren vorhanden. Letztere hatten längere und etwas mehr verzweigte Wurzeln. Am 10. September und am 2. Juni 1911 wurden ungekalkte und gekalkte Exemplare gemessen. Wie ein Vergleich der gekalkten Pflanzen von den beiden Terminen zeigt, waren große und kleine Exemplare vorhanden, und hieraus erklärt sich, daß die Pflanzen am 2. Juni kleiner waren als am 10. September.

10. September 1910	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,21 cm	4,96 cm
„ Wurzellänge . . .	3,12 „	6,37 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	12	26
2. Juni 1911		
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,27 „	4,93 „
„ Wurzellänge . . .	3,54 „	5,74 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	13	15

Die Wurzeln der gekalkten Exemplare waren ziemlich reichlich verzweigt. Am 12. Oktober 1911 waren noch einige Exemplare auf der ungekalkten, mehrere auf der gekalkten Parzelle vorhanden,

die aber schlechter entwickelt waren als auf der entsprechenden Parzelle mit Mennige.

Auf den Parzellen mit Mennige waren schon am 16. Juli 1910 Unterschiede zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren sichtbar. Letztere hatten längere Wurzeln. Messungen wurden am 10. September 1910 und 2. Juni 1911 ausgeführt. Die Pflanzen dürften von sehr verschiedener Größe gewesen sein, da der Unterschied in der Wurzellänge zwischen den Exemplaren vom 10. September und 2. Juni 1911 nicht bedeutend ist. Auffällig ist, daß die gekalkten Exemplare einen kürzeren Stengel hatten als die ungekalkten.

10. September 1910	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,275 cm	3,88 cm
„ Wurzellänge . . .	3,025 „	10,48 „
Anzahl der gemessenen Exemplare .	20	52
2. Juni 1911		
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,125 „	3,8 „
„ Wurzellänge . . .	4,875 „	10,7 „
Anzahl der gemessenen Exemplare .	16	15

Am 12. Oktober 1911 waren noch ungekalkte Exemplare vorhanden, die ein klein wenig besser standen als auf der entsprechenden Parzelle mit Bleiweiß. Die gekalkten Exemplare sind an diesem Termin noch zahlreicher und stehen auch besser.

Am 16. Juli 1910 war der Unterschied zwischen den ungekalkten und gekalkten Exemplaren auf den Parzellen mit Bleiglätte sehr bedeutend. Dieser Unterschied trat an den beiden folgenden Terminen noch schärfer hervor.

10. September 1910	Ungekalkt	Gekalkt
Durchschnittliche Stengellänge . . .	3,17 cm	4,32 cm
„ Wurzellänge . . .	2,87 „	6,58 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	24	58
2. Juni 1911		
Durchschnittliche Stengellänge . . .	4,4 „	5,07 „
„ Wurzellänge . . .	4,9 „	8,28 „
Anzahl der gemessenen Exemplare . .	14	23

Es waren immer kurze und lange Exemplare nebeneinander vorhanden. Gelegentlich kamen bei den ungekalkten Exemplaren Nebenwurzeln vor, die kürzer blieben als die Hauptwurzel. Bei

den gekalkten Exemplaren machten die Wurzeln einen feineren und zarteren Eindruck als bei den ungekalkten; die Nebenwurzeln waren ungefähr von gleicher Länge wie die Hauptwurzeln und standen unter einem bestimmten Winkel zur Hauptwurzel, so daß das Wurzelsystem ein sehr charakteristisches Aussehen hatte. Gegenüber den Pflanzen von der ungekalkten und gekalkten Moorfläche hatte das Wurzelwachstum auf den beiden Bleiglätteparzellen eine Verzögerung erfahren, auf der gekalkten Parzelle aber eine viel geringere als auf der ungekalkten.

Am 12. Oktober 1911 fanden sich auf der ungekalkten Parzelle noch wenige, auf der gekalkten ziemlich viele Exemplare.

Im Moorboden haben sich die in die Untersuchung gezogenen Pflanzenarten gegen die Verbindungen des Zinks und Bleis sehr ungleich verhalten. Ein starkes Gift ist das Zinkweiß, unter dem auf die Dauer alle Pflanzenarten leiden, wenn auch in verschiedenem Grade. Als die gegen diese Verbindung empfindlichsten Pflanzen sind anzusehen: Eiche, Roteiche und Buche, die weder auf dem ungekalkten noch auf dem gekalkten Boden gekommen sind. Auf der ungekalkten Parzelle ist ferner nicht gekommen der Raps; gekommen, aber eher oder später wieder zugrunde gegangen sind Weizen, Roggen, Buchweizen, Hafer, Lupine, Fichte, Krummholzkiefer und Kiefer. Gegen das Zinkweiß bei Gegenwart von Kalk verhielten sich die Pflanzenarten verschieden. Bereits am 16. Juli 1910 war der Buchweizen tot, Raps und Lupine existierten noch am 10. September 1910. Hafer stand an diesem Termin verhältnismäßig gut, besser als auf den Bleiparzellen. Weizen und Roggen hielten sich noch bis zum Ausgang der zweiten Vegetationsperiode, von den Nadelhölzern existierten noch am 12. Oktober 1911 Exemplare. Obgleich sich ein Teil der Pflanzen sehr lange auf der gekalkten Zinkweißparzelle gehalten hatte, so waren die Pflanzen doch durchweg, vielleicht mit Ausnahme von Hafer, kümmerlich gewesen, so daß ein schädlicher Einfluß des Zinks unverkennbar war. Die Pflanzen standen erheblich schlechter als auf der gekalkten Moorfläche. Auf die Dauer sind auf einem derartigen Boden, der Zinkweiß in solchen Mengen enthält, daß sein Gehalt an Zink 1% beträgt, auch die 3 Nadelhölzer nicht existenzfähig, während es für unsere Laubhölzer (Eiche, Roteiche und Rotbuche) ein vollständig vergifteter Boden ist.

Das Verhalten unserer Pflanzenarten auf den ungekalkten Bleiparzellen entspricht im wesentlichen dem Verhalten auf der ungekalkten Moorfläche. Zu derselben Zeit gehen sie hier wie dort zugrunde, mit Ausnahme der Eiche, die überhaupt nicht auf den ungekalkten Bleiparzellen gekommen ist. Und ebenso verhielt sich die Rotbuche auf der Bleiglätteparzelle. Ob es sich in diesen Fällen um ein spezifisches Verhalten der Pflanzen gegen die Bleiverbindungen handelt, oder um Zufälligkeiten, ist nicht zu entscheiden. Wie der Zusatz von Kalk das Wachstum der Pflanzen auf der Moorfläche vorteilhaft beeinflußt, so auch auf den mit Bleiverbindungen versetzten Parzellen. Aber ein nachteiliger Einfluß der Bleiverbindungen, wenn auch in verschiedenem Grade, ist unverkennbar. Bei einer großen Zahl von Pflanzen wirkt das Bleiweiß am wenigsten schädlich, die Mennige etwas schädlicher und die Bleiglätte am schädlichsten. Auf der Parzelle mit Bleiweiß standen Weizen, Roggen, Hafer, Buchweizen, Raps, Lupine etwas weniger gut als auf der gekalkten Moorfläche. Über das Verhalten der Buche und Roteiche kann man nichts Bestimmtes aussagen, da die Zahl der Exemplare zu gering war. Die Fichten, Kiefern und Krummholzkiefern haben sich auf allen gekalkten Parzellen mit Bleiverbindungen während der ganzen Beobachtungszeit am Leben erhalten, wenn sie auch eine dauernde Beeinträchtigung des Wachstums erfuhren.

Der Zusatz der Bleiverbindung zum ungekalkten Boden verzögerte bei der Kiefer und Krummholzkiefer und zum Teil auch bei der Fichte das Längenwachstum der Wurzeln, bei den gekalkten Pflanzen wird das gleiche, wenn auch in geringerem Grade für Fichte und Krummholzkiefer beobachtet. Für die Fichte erweist sich die Bleiglätte am schädlichsten, die Mennige am wenigsten schädlich. Der Krummholzkiefer ist Bleiweiß am schädlichsten, Mennige wiederum am wenigsten schädlich. Bei der Kiefer ist sogar eine starke Steigerung des Längenwachstums der Wurzeln festzustellen. Dennoch haben auch die Kiefern, wenn man das Gesamtverhalten der Pflanzen ins Auge faßt, unter dem Einfluß der Bleiverbindung gelitten.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, daß in stark sauren Böden die als Flugstaub in den Boden gelangten Bleiverbindungen einen nachteiligen Einfluß auf die Fichten ausüben können. Gegenüber der Wirkung des Kalkmangels tritt der Einfluß des Bleis im Boden zurück, jedenfalls ist es nicht die Ursache vom Absterben

der Fichten, höchstens kann es dazu mitgewirkt haben. Wenn jetzt im Claustaler Rauchschadengebiet die Bäume oder gar Kräuter nicht mehr gedeihen, so ist der Grund davon nicht in der Gegenwart des Bleis im Boden zu suchen, sondern in der Entkalkung des Bodens. Es ist auch zu erwarten, daß trotz der Gegenwart des Bleis die Bäume nach dem Kalkzusatz dauernd gedeihen werden, wenn ihr Wachstum auch etwas herabgesetzt sein sollte.

e) Versuche mit Gartenboden.

Diese Versuche wurden im Garten des Botanischen Instituts der Technischen Hochschule ausgeführt. Der Boden brauste mit Salzsäure auf; er enthielt also ziemlich viel Kalk, konnte mithin nicht als saurer Boden gelten. Es wurden 6 Parzellen von je 4 qm Größe hergerichtet. Sie waren nach Südost gelegen; 4 von ihnen lagen nebeneinander an einem Wege, 2 hinter diesen. Die Versuche wurden im Frühjahr 1910 begonnen und im folgenden Jahre fortgesetzt. Von Bleiverbindungen wurden gewählt: Bleiweiß, Mennige und Bleiglätte, von Zinkverbindungen Zinkweiß. Außerdem wurde zu einer Parzelle gepulvertes Kupfervitriol gesetzt, um zu sehen, wie dies auf die Pflanzen einwirkte. Die 6. Parzelle erhielt keinen Zusatz.

1.	Bleiglätte . .	2 kg	0,16 % Pb
2.	Mennige . . .	2 „	0,16 % „
3.	Bleiweiß . .	4 „	0,26 % „
4.	Zinkweiß . .	2,88 kg	0,19 % Zn
5.	Kupfervitriol .	4 kg	0,13 % Cu

Diese Mengen sind sehr viel geringer als bei den anderen Versuchen. Zur Wahl dieser geringen Konzentration bin ich bestimmt worden durch eine Angabe von Tschirch[1]). Er gibt an, daß Nanismus bei Zusatz von 1 kg Mennige zu 2 qm Bodenfläche eintritt. In einer derartigen vergifteten Parzelle konnte er 2 Jahre hintereinander seine Versuchspflanzen (welche, wird nicht erwähnt) nicht zur Blüte bringen. „Sie blieben klein und schmächtig. Man kann direkt von einem Bleinanismus sprechen.“ Dahingegen beobachtete er keine schädliche Wirkung des Kupfers, als er einer solchen Parzelle 4 kg gepulvertes Kupfervitriol zusetzte. Er säte

[1]) Das Kupfer vom Standpunkt der gerichtlichen Chemie, Toxikologie und Hygiene. Stuttgart, Ferdinand Enke, 1893, S. 15.

im Jahre 1891 und 1892 Weizen und im Jahre 1892 außerdem noch Kartoffeln aus. Die Weizenpflanzen entwickelten sich normal, blühten und fruchteten normal. Und ebenso entwickelten sich die Kartoffeln normal. Der Gehalt meiner Parzellen an Blei betrug bei Bleiglätte und Mennige 0,16 %. Da ich vermutete, daß das Bleikarbonat weniger schädlich sein müßte, habe ich hiervon einen höheren Zusatz gewählt, und zwar 0,26 % Pb. Die Samen wurden am 27. und 28. Mai 1910, und zwar auf allen Parzellen in 8 Reihen in folgender Ordnung von hinten nach vorne ausgelegt:

1. Hafer;
2. Roggen (derselbe Roggen, der auf dem Moore ausgesät worden war und sich nicht als Sommerroggen erwies);
3. Weizen (hierfür trifft das Gleiche zu wie für den Roggen);
4. gelbe Lupine (*Lupinus luteus* L.);
5. Buchweizen und Stachelginster (*Ulex europaeus* L.);
6. Rotbuche und *Robinia pseudacacia* L.;
7. Krummholzkiefer und Eiche;
8. Fichte und Kiefer.

Rotbuche und Eiche keimten schlecht, und ebenso kamen die Nadelhölzer schlecht auf. Da der Grund dafür in der Gegenwart von Vögeln gesucht wurde, wurden die Nadelhölzer nachgesät und Drahtgeflecht so darüber gespannt, daß die Vögel nicht mehr an die Samen gelangen konnten. Und jetzt wuchsen die Pflanzen in der Tat besser. Im Laufe des Sommers wurde, da infolge der schlechten Entwicklung der Buche und Eiche auf den Parzellen Platz geworden war, Sonnenblumen ausgesät.

Die Versuche führten zu folgenden Ergebnissen:

Die Getreidearten waren auf der Parzelle mit Kupfervitriol viel kümmerlicher gekommen als auf den anderen Parzellen. Am besten standen die Pflanzen auf der Parzelle ohne Zusatz. Mit Sicherheit konnten Unterschiede zwischen den Pflanzen auf den vier anderen Parzellen nicht festgestellt werden. Zur Bildung von Halmen kam es beim Weizen und Roggen in diesem Jahre nicht, wohl aber im folgenden. In der Produktion der Blüten und Früchte ließ sich nach dem Augenschein zwischen den einzelnen Parzellen kein Unterschied feststellen; nicht einmal auf der Parzelle mit Kupfervitriol waren die Halme minderwertiger, wenn sie auch in geringerer Zahl vorhanden waren. Eine definitive Entscheidung, ob die Zusätze zum Boden die Entwicklung der Pflanzen ge-

schädigt haben, hätte sich nur aus der zahlenmäßigen Feststellung des Ernteergebnisses fällen lassen, und dazu hätten größere Flächen besät werden müssen. Beim Hafer habe ich die im Jahre 1910 geernteten fruktifizierenden Halme gewogen, wodurch wenigstens eine ungefähre Vorstellung über die Einwirkung der Zusätze erhalten werden konnte. Ganz unzweifelhaft hatte das Kupfervitriol geschädigt. Die Pflanzen standen sehr schlecht, die Halme waren erheblich niedriger als auf den anderen Parzellen und auch in geringerer Zahl vorhanden. Am besten standen die Haferpflanzen auf der normalen Parzelle. Auf den anderen Parzellen konnte nach dem Augenschein kein Unterschied festgestellt werden. Als die Halme reiften, wurden sie abgeschnitten und gewogen.

Normal	574 g
Bleiglätte	378 g
Mennige	519 g
Bleiweiß	571 g
Zinkweiß	485 g
Kupfervitriol	270 g

Daß das Wachstum auf der gekupferten Parzelle sehr schlecht gewesen war, drückt sich in den vorstehenden Zahlen aus. Eine andere Frage ist, ob die für die anderen Parzellen ermittelten Gewichte vergleichbare Zahlen sind, da die Anzahl der Exemplare nicht bekannt ist. Sollten sie vergleichbar sein, so würde daraus hervorgehen, daß Bleiweiß nicht und Mennige nur wenig schädlich wirkten. Dahingegen müßte man der Bleiglätte ein höheres Maß von Schädigung zumessen. Zinkoxyd würde dann schädlicher sein als Mennige und weniger schädlich als Bleiglätte.

Buchweizen stand am 5. Juli 1910 am üppigsten auf der Parzelle ohne Zusatz, am schlechtesten auf der gekupferten Parzelle, etwas besser, aber auch noch schlecht auf der zinkhaltigen. Auf den drei bleihaltigen standen die Pflanzen ungefähr gleich. Eine sichere Entscheidung darüber, ob die Bleiverbindungen verschieden gewirkt haben, hätte sich nur aus den Ernteergebnissen schließen lassen; doch war eine solche Ermittlung in Anbetracht der geringen Anzahl von Exemplaren ausgeschlossen. Um eine Vorstellung über das Wachstum der Buchweizenpflanzen auf den verschiedenen Parzellen zu erhalten, habe ich die Stengelhöhe ermittelt. Die Stengel wurden gemessen und in Gruppen geteilt, die um 10 cm differierten. In der Tabelle auf S. 214 sind die Messungen zusammengestellt,

in der ersten Vertikalreihe jedesmal die ermittelte Anzahl der Exemplare, in der zweiten die prozentische Zahl; nur bei der Bleiglätte ist davon abgesehen worden, weil die Prozentzahl bei 101 Exemplaren nahezu genau mit der ermittelten Zahl zusammenfällt.

	Normal		Bleiglätte		Mennige		Bleiweiß		Zinkweiß		Kupfer	
Anzahl der Exemplare	139		101		106		79		77		121	
Höhe der Stengel		%				%		%		%		%
1—10	0	0	1	3	2,83	0	0	1	1,3	10	8,26	
1—20	8	5,76	44	9	8,49	6	7,66	3	3,9	44	36,36	
1—30	10	7,2	12	16	15,09	12	15,32	9	11,7	26	21,49	
1—40	15	10,8	15	16	15,09	16	20,25	13	16,9	20	16,53	
1—50	20	14,4	14	25	23,58	16	20,25	17	22,07	11	9,09	
1—60	20	14,4	14	10	9,04	6	7,66	17	22,08	4	3,31	
1—70	24	17,27	13	21	19,81	9	11,39	9	11,76	5	4,00	
1—80	16	11,51	14	3	2,83	7	8,86	6	7,8			
1—90	10	7,2	9	3	2,83	5	6,33	1	1,3			
1—100	13	9,35	4			1	1,27	1	1,3			
1—110	3	2,16	1			1	1,27					
		100			100		100		100		100	

Das Verhalten der Pflanzen auf den Parzellen mit Kupfer und Zinkweiß zeigt, daß die durchschnittliche Höhe der Stengel viel geringer ist als auf der Parzelle ohne jeglichen Zusatz. Noch deutlicher tritt das hervor, wenn man die prozentischen Zahlen graphisch darstellt, wie es auf S. 215 geschehen ist. Trägt man auf der Abszisse die Stengelhöhe, auf der Ordinate die Zahl der Exemplare ab, dann liegt das Maximum auf der normalen Parzelle bei der Stengelhöhe 50—60 cm, auf der gekupferten Parzelle bei 10—20 cm, bei der Parzelle mit Zinkweiß bei 40—60 cm. Die Maxima sind auch namentlich bei den gekupferten Exemplaren absolut höher als bei den normalen Pflanzen. Bei den gekupferten Exemplaren steigt die Kurve steil an bis zum Maximum und fällt allmählich wieder ab, bei den Exemplaren von der Parzelle mit Zink steigt die Kurve langsamer an und fällt langsam ab. Nicht so deutlich treten die Beziehungen hervor bei den Exemplaren von den Parzellen mit den Bleiverbindungen. Auch hier sind aus den ermittelten prozentischen Zahlen die Kurven konstruiert und auf S. 215 abgebildet worden. Hier verlaufen die Kurven viel unregelmäßiger, doch liegt im allgemeinen das Maximum vor dem der

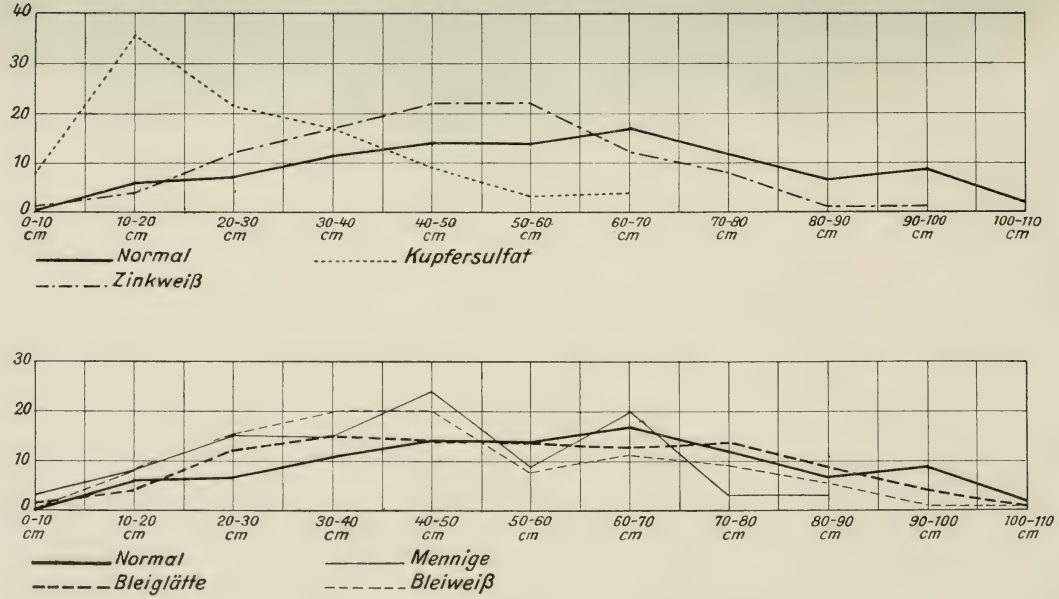


Abb. 43.
Kurven für Buchweizen.

Exemplare von der normalen Parzelle. Das gilt namentlich vom Bleiweiß und von der Mennige. Die Interpretation aller Kurven führt zu dem Ergebnis, daß die Pflanzen in ihrem Wachstum durch jeden Zusatz, am meisten durch das Kupfervitriol, am wenigsten durch die Bleiglätte beeinträchtigt worden sind. Mennige scheint schädlicher zu sein als Zinkweiß, Bleiweiß noch etwas schädlicher als Mennige.

Sonnenblume. Die Exemplare waren noch jung, als sie im Sommer abgeschnitten wurden, da sie erst spät ausgesät worden waren; sie waren noch weit entfernt vom Blühen. Die geernteten Stengel wurden gezählt und gewogen.

	Normal	Bleiglätte	Mennige	Bleiweiß	Zinkweiß	Kupfer
Anzahl der Exemplare .	33	42	42	42	62	33
Gewicht in g	498	346	197	223	345	150
Gewicht eines Stengels in g	15,1	8,2	4,7	5,3	5,6	4,6

Nach dem Gewicht der Stengel zu urteilen, sind die Pflanzen auf allen Parzellen hinter denen auf der normalen Parzelle zurückgeblieben, am meisten auf der Parzelle mit Kupfer und Mennige, am wenigsten auf der Parzelle mit Bleiglätte. Der nachteilige Einfluß aller dieser Zusätze tritt bei der Sonnenblume in der Höhe der Stengel nicht hervor, wie aus der nachstehenden Zusammenstellung hervorgeht.

	Normal		Bleiglätte		Mennige		Bleiweiß		Zinkweiß		Kupfer	
	33 Exempl.		42 Exempl.		42 Exempl.		42 Exempl.		62 Exempl.		33 Exempl.	
Höhe der Pflanzen	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
1—10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1,61	2	6,06
1—15	5	5,75	1	2,38	0	0	3	7,14	2	3,2	1	3,03
1—20	11	12,64	5	11,9	7	16,7	3	7,14	10	16,1	4	12,12
1—25	17	19,54	5	11,9	9	21,4	9	21,4	13	20,97	2	6,06
1—30	14	16,09	4	5,5	15	35,71	7	16,7	10	16,1	5	15,15
1—35	13	14,94	11	26,19	9	21,4	12	28,57	13	20,97	8	24,24
1—40	9	10,34	10	23,8	1	2,38	1	2,38	8	12,9	7	10,34
1—45	8	9,2	4	5,5	1	2,38	5	11,9	3	4,84	2	6,06
1—50	8	9,2	2	2,76	0	0	2	2,76	1	1,61	2	6,06
1—55	2	2,3	0	0	0	0	0	0	1	1,61	0	0

Die Tabelle ist in derselben Weise aufgestellt worden wie die für Buchweizen. Auf der normalen Parzelle kommen die höchsten

Exemplare vor und diese fehlen entweder wie bei Bleiglätte, Mennige, Bleiweiß und Kupfervitriol oder sind in viel geringerer Menge vorhanden. Wenn nun auch das Höhenwachstum durch die Bleiverbindung vielleicht etwas beeinträchtigt wird, so kann doch bei der Sonnenblume ebensowenig wie beim Buchweizen oder Hafer die Rede von einem ausgesprochenen Nanismus sein.

Gelbe Lupine. Am 26. August blühte die Lupine auf allen Parzellen. Die Pflanzen standen am kümmerlichsten auf der gekupferten Parzelle, dann folgte die Parzelle mit Zinkweiß, dann die mit Mennige. Auf der Parzelle mit Bleiglätte schienen die Lupinen auch noch schlechter zu stehen als auf der Parzelle mit Bleikarbonat. Am gleichmäßigsten standen die Pflanzen auf dem normalen Felde. Als die Pflanzen aus dem Boden herausgenommen wurden, wurden auch Feststellungen über das Vorhandensein von Knöllchen gemacht. Auf der normalen Parzelle waren die meisten (26) Exemplare ohne Knöllchen. 10 Exemplare von sehr verschiedener Größe hatten Knöllchen; 2 von ihnen besaßen sehr große Knöllchen, die anderen Exemplare hatten kleine oder mittelgroße Knöllchen. Auf der Parzelle mit Bleiglätte waren 17 Exemplare mit Knöllchen, 5 ohne Knöllchen vorhanden, während 10 Exemplare oberhalb der Erde abgeschnitten worden waren, so daß an ihnen das Vorhandensein von Knöllchen nicht festgestellt werden konnte. Die Knöllchen waren meistens von mittlerer Größe, daneben kamen einige kleinere vor. Auf der Parzelle mit Mennige waren 43 Exemplare vorhanden. Die meisten waren groß oder mittelgroß, einige klein und hatten Knöllchen; diese waren meistens groß, einzelne sogar sehr groß. Auf der Parzelle mit Bleiweiß waren 11 Exemplare ohne, 17 mit Knöllchen vorhanden. Die meisten, ob mit oder ohne Knöllchen, waren große oder mittelgroße, meistens sehr kräftige Pflanzen. Daneben waren einige kleine Exemplare vorhanden. Die Knöllchen waren von verschiedener Größe: eins ganz groß, die anderen mittelgroß oder klein. Auf der Parzelle mit Zinkweiß waren 28 Exemplare vorhanden, von denen 12 klein, die meisten anderen mittelgroß waren. Daneben fanden sich einige große Exemplare. Knöllchen waren nur an einem Exemplar aufgetreten. Auf der gekupferten Parzelle waren 10 mittlere und 4 kleine Exemplare vorhanden. Drei mittlere und ein kleines hatten Knöllchen. Die Knöllchen waren meistens klein, nur an einem Exemplar waren sie von mittlerer Größe.

Auch für die Lupinenstengel wurde das Gewicht bestimmt, um einen weiteren Anhalt zur Beurteilung der Pflanzen auf den verschiedenen Parzellen zu erhalten.

	Normal	Bleiweiß	Mennige	Bleiweiß	Zinkweiß	Kupfervitriol
Anzahl der Exemplare . .	36	32	43	28	28	14
Gewicht der Exemplare in g	423	457	363	600	169	103
Gewicht eines Exemplars in g	11,75	14,3	8,4	21,4	6,0	7,3

Geht man lediglich nach dem Gewicht, so haben Zinkweiß, Kupfervitriol und Mennige in absteigender Reihenfolge schädlich gewirkt. Bleiglätte und Bleiweiß hätten nicht nur nicht geschadet, sondern die Entwicklung der Pflanzen sogar begünstigt. Etwas anders fällt das Ergebnis aus, wenn man das Aussehen der Pflanzen und das Verhalten der Knöllchen mit berücksichtigt. Dann hat der Zusatz von Kupfervitriol am nachteiligsten gewirkt, darauf folgt das Zinkweiß. Besser werden die Oxyde des Bleis vertragen, doch haben auch sie geschädigt, und zwar die Mennige mehr als die Bleiglätte. Dahingegen scheint der Zusatz von Bleiweiß, also von Bleikarbonat, das Wachstum der Pflanzen begünstigt zu haben. Das Gewicht der einzelnen Pflanze war auf dieser Parzelle bedeutender als auf der normalen. Die Pflanzen waren größtenteils sehr kräftige Exemplare, von denen rund 60 % Knöllchen trugen, während die Exemplare von der normalen Parzelle von sehr verschiedener Größe waren; von ihnen trugen nur 28 % Knöllchen, einige Exemplare allerdings sehr große.

Robinia pseudacacia. Am 20. August 1910 wurde folgendes festgestellt: Am kümmerlichsten standen die Exemplare auf der Parzelle mit Zinkweiß; es waren nur kleine Exemplare mit kleinen Blättchen vorhanden. Die ausgegrabenen Exemplare waren knöllchenlos. Auf der Parzelle mit Kupfervitriol waren kleine und große Exemplare vorhanden. Erstere hatten ein ganz kleines Wurzelsystem, aber besaßen Knöllchen. Bedeutend besser als auf diesen beiden Parzellen standen die Akazien auf der Parzelle mit Mennige, aber diese hat von allen Bleiverbindungen am meisten geschädigt. Die ausgegrabenen Exemplare hatten ziemlich große Wurzeln und Knöllchen. Auch auf der Parzelle mit Bleiglätte kamen große und kleine Exemplare vor, doch standen sie durchgehends besser als auf der Parzelle mit Mennige. Auf der Parzelle mit Bleiweiß waren ebenso wie auf der normalen Parzelle lauter kräftige Exemplare gekommen. Auf der normalen Parzelle war die Zahl der vorhandenen Exemplare verhältnismäßig klein.

Im folgenden Jahre wuchsen die noch vorhandenen Exemplare auf allen Parzellen ziemlich stark. Auf der Parzelle mit Zinkweiß waren keine Exemplare mehr vorhanden. Ob sie infolge der Einwirkung des Zinks verschwunden sind oder aus einer anderen zufälligen Ursache, muß dahingestellt bleiben. Am 10. Oktober 1911 wurde die Stammhöhe der vorhandenen Exemplare gemessen.

	Normal	Kupfervitriol	Bleiglätte	Mennige	Bleiweiß
Anzahl der Exemplare	5	6	4	3	7
Durchschnittliche Höhe	1,69	1,18	1,16	0,89	0,96 m

Demnach sind die Exemplare auf der normalen Parzelle am stärksten gewachsen, am schlechtesten auf der Parzelle mit Mennige, etwas besser auf der mit Bleiweiß. Auf der Parzelle mit Kupfervitriol sind sie ungefähr ebenso gut gewachsen wie auf der mit Bleiglätte, immerhin noch um 25 % schlechter als auf der normalen Parzelle. Überraschend ist, daß die Pflanzen auf der Parzelle mit Kupfervitriol verhältnismäßig so gut gewachsen sind, vermutlich ist das darauf zurückzuführen, daß ein Teil des Kupfers aus dem Boden ausgewaschen oder durch Bindung in eine harmlose Form übergegangen war. Beim Bleiweiß tritt in diesem Jahre deutlich eine Benachteiligung der Pflanzen hervor.

Ulex europaeus. Am 20. August 1910 standen die Pflanzen am kümmmerlichsten auf der Parzelle mit Mennige, am besten auf der mit Bleiglätte, dann folgte Bleiweiß. Im folgenden Jahre waren die Pflanzen auf allen Parzellen zu kräftigen Büschen herangewachsen, an denen eine schädliche Einwirkung der Zusätze nicht zu erkennen war. Es muß dahingestellt bleiben, ob das Wachstum von *Ulex* überhaupt durch die Zusätze geschädigt wird.

Die drei Nadelhölzer Fichte, Kiefer und Krummholzkiefer wurden erst nach zweijähriger Vegetationsperiode im Jahre 1911 untersucht. Um einen Maßstab für das Wachstum zu haben, wurde die Länge der Stengel und der Wurzeln ermittelt.

	Normal		Bleiglätte		Mennige	
	Stengel	Wurzel	Stengel	Wurzel	Stengel	Wurzel
Fichte	7,6	8,4	7,3	11,6	7,6	11,7
Anzahl der Exemplare	27		77		55	
Kiefer	6,3	10	5,2	11,9	5,9	15,6
Anzahl der Exemplare	18		48		28	
Krummholzkiefer . .	5,4	12,7	4,9	14,9	6,3	14,8
Anzahl der Exemplare	5		14		2	

	Bleiweiß		Zinkweiß		Kupfervitriol	
	Stengel	Wurzel	Stengel	Wurzel	Stengel	Wurzel
Fichte	7,5	14,3	7,7	14,3	9	14,7
Anzahl der Exemplare	43		56		22	
Kiefer	6,4	16,6	5,9	19,3	5,9	20,3
Anzahl der Exemplare	37		25		11	
Krummholzkiefer . .	4,7	13,4	5,3	17,7	5,8	13
Anzahl der Exemplare	40		15		3	

Die Fichte ist am schlechtesten auf der normalen Parzelle gewachsen, was zunächst so zu deuten ist, daß der Boden für die Fichte nicht geeignet ist. Auf allen anderen Parzellen ist das Wachstum unverkennbar durch den Zusatz zum Boden gefördert worden, wenigstens das Wachstum der Wurzeln. Am bedeutendsten ist die Wachstumssteigerung auf der Parzelle mit Kupfervitriol, wo sogar auch eine Verlängerung der Stengel eingetreten ist. Von ungefähr gleicher Größe ist die Förderung des Wurzelwachstums auf den Parzellen mit Zink- und Bleiweiß. Geringer, aber von annähernd gleicher Größe ist die Wachstumssteigerung auf den Parzellen mit Bleiglätte und Mennige.

Bei der Kiefer ist der Stengel auf der normalen Parzelle und der Parzelle mit Bleiweiß von gleicher Größe, auf allen anderen etwas kleiner, am kleinsten auf der Parzelle mit Bleiglätte. Dahingegen ist das Wurzelwachstum am geringsten auf der normalen Parzelle, am größten auf der Parzelle mit Kupfervitriol. Fast ebenso groß ist das Wachstum der Wurzeln auf der Parzelle mit Zinkweiß. Auf den Bleiparzellen ist die Förderung des Wurzelwachstums am größten auf der mit Bleiweiß, am geringsten auf der mit Bleiglätte.

Bei der Krummholzkiefer ist das Längenwachstum der Stengel gegenüber dem auf der normalen Parzelle auf den Parzellen mit Mennige und Kupfervitriol gefördert worden. Eine Förderung des Wurzelwachstums gegenüber den normalen Verhältnissen ist auf allen Parzellen festzustellen; diese Förderung ist am geringsten auf der Parzelle mit Kupfervitriol, dann folgt die mit Bleiweiß. Am beträchtlichsten ist die Wachstumsförderung auf der Parzelle mit Zinkweiß, ziemlich gleich groß auf den Parzellen mit Bleiglätte und Mennige.

Bei den Nadelhölzern ist hiernach von einem Bleinanismus nichts zu spüren. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um fest-

zustellen, worin die ermittelte Wachstumsförderung der Wurzeln durch die metallischen Zusätze zum Boden ihre Ursache hat. Vielleicht dienen die Metallverbindungen als Reizstoff.

Im Gartenboden ist das Verhalten der verschiedenen Pflanzenarten gegen die Metallverbindungen sehr ungleich. Den Nadelhölzern haben die Zusätze kaum geschadet, sondern sie größtenteils noch in ihrer Entwicklung gefördert. Bei einigen anderen Pflanzenarten hat sich nur im ersten Jahre ein Einfluß der metallischen Zusätze bemerkbar gemacht, aber nicht im folgenden, wie besonders auf der Parzelle mit Kupfervitriol. Das gilt von den ausdauernden Getreidearten, der Akazie und dem Stachelginster. Sie alle kamen zunächst ebenso wie Buchweizen, Hafer und Lupine auf der Parzelle mit Kupfervitriol kümmerlicher als auf den anderen Parzellen. Auch die Sonnenblume war ungünstig beeinflußt, wenn man den Nachdruck auf das Gewicht des Stengels legt. In der Gesamterscheinung trat hier der Einfluß nicht so deutlich hervor wie bei den anderen Pflanzenarten. Bei den ausdauernden Gewächsen war das Ergebnis im zweiten Jahre ein anderes. Weizen und Roggen bildeten Halme, die geblüht und gefruchtet haben, und sich durch nichts von denen auf den anderen Parzellen unterschieden. Das Gleiche gilt von *Ulex*. Auch die kümmerlichen Akazien sind im zweiten Jahre kräftig und teilweise sogar besser gewachsen als auf einigen der anderen Parzellen. Das ungleiche Verhalten derselben Pflanzenart auf der Parzelle mit Kupfervitriol in zwei aufeinander folgenden Jahren ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß ein Teil des Kupfervitriols ausgelangt oder in eine wenig lösliche Kupferverbindung übergeführt worden ist.

Auch gegen die Zinkverbindung verhalten sich die Pflanzenarten ungleich. Bei den Nadelhölzern wird das Wurzelwachstum durch das Zinkweiß bedeutend begünstigt. Der Akazie und Lupine ist das Zink sehr nachteilig gewesen, während es *Ulex* wenig schädlich gewesen zu sein scheint. Der Buchweizen ist stark geschädigt worden, die Sonnenblume weniger und der Hafer nur verhältnismäßig wenig, der Weizen und Roggen gar nicht.

Gegenüber den Bleiverbindungen verhalten sich die Pflanzenarten sehr ungleich. Bei der Fichte ist der fördernde Einfluß auf das Längenwachstum geringer durch Bleiglätte und Mennige als durch Bleiweiß. Bei der Kiefer ist die Abstufung folgende: den geringsten Einfluß übte Bleiglätte, den stärksten Bleiweiß. Bei der Krummholzkiefer übten Bleiweiß den geringsten, Bleiglätte

und Mennige einen ungefähr gleich großen Einfluß aus. Die Akazie ist in ihrem Wachstum nur wenig ungünstig beeinflußt worden, am meisten durch Mennige. Denselben ungünstigen Einfluß hat Mennige auch auf Lupine gehabt, während Bleiglätte und noch mehr Bleiweiß das Wachstum förderten. Urteilt man nach dem Gewicht der Stengel, so ist die Sonnenblume durch Mennige am meisten, durch Bleiglätte am wenigsten geschädigt worden. Die Wirkung von Bleiweiß näherte sich mehr der von Mennige als der von Bleiglätte. Ebenso liegen die Verhältnisse beim Buchweizen. Für Hafer war Bleiglätte am schädlichsten, Bleiweiß so gut wie unschädlich, Mennige verhältnismäßig wenig schädlich. Wenn man berücksichtigt, daß Bleiweiß in erheblich höherer Konzentration benutzt wurde als die beiden anderen Bleiverbindungen, so scheint es die am wenigsten schädliche Verbindung zu sein. Im übrigen ist die Empfindlichkeit der verschiedenen Pflanzenarten gegenüber den in die Untersuchung gezogenen metallischen Verbindungen sehr ungleich. Wir haben eine ganze Stufenleiter von sehr empfindlichen bis zu Pflanzenarten, die durch die Zusätze eine Förderung des Wachstums erfahren.

Unsere Versuche sind nicht umfangreich und mannigfaltig genug, um die Frage nach der schädlichen Wirkung der in die Untersuchung gezogenen Metalle auf die Pflanzen erschöpfend zu beantworten, können also nur als ein Beitrag zu dieser Frage aufgefaßt werden, besonders zeigen sie, daß die Empfindlichkeit der Pflanzenarten gegen die metallischen Gifte sehr ungleich ist, und dieser Umstand dürfte manchen Widerspruch in der Literatur erklären, während andererseits auch die Bodenbeschaffenheit einen großen Einfluß auf die Giftigkeit der betreffenden Verbindungen ausübt.

Aus Wasserkulturen ist bekannt, daß z. B. Zinksulfat bereits in starker Verdünnung für die geprüften Pflanzen sehr giftig ist. Nach A. Baumann liegt die Grenze der ausnahmslosen Schädlichkeit bei 22 mg Zinksulfat in 1 l Flüssigkeit, „während sich die verschiedenen Pflanzen bezüglich der Schnelligkeit der Wirkung verschieden verhalten und 1 mg Zink oder 4,4 mg Zinksulfat in 1 l Flüssigkeit für alle Pflanzen unschädlich sind“. „Bei Versuchen an der Versuchsstation Münster i. W. wurde Boden mit verschiedenen Mengen Zinksulfat in wässeriger Lösung behandelt; die in diesen Böden gezogenen Pflanzen wurden in ihrem Wachstum durch den Zinkgehalt des Bodens gestört; in allen Fällen ließ

sich in den Pflanzen Zink nachweisen.“ Wiederum ganz abweichende Resultate hat A. Baumann mit Zinksulfat in Böden erhalten. „In Sandboden trat beim Begießen mit Zinksulfat anfänglich eine kräftige Entwicklung der Pflanzen ein, später kündigte sich die schädliche Wirkung des Zinksulfats durch eine Verfärbung des Blattgrüns an; im Kalkboden wurde das Wachstum der Pflanzen durch das Begießen mit Zinksulfatlösung gefördert. Nach diesen Versuchen ist anzunehmen, daß in einem Boden, welcher reich an Humus und kohlensaurem Kalk ist, das lösliche Zinksalz durch Umsetzung in unlösliches humussaures und kohlensaures Zink unschädlich gemacht wird, daß aber in einem an Humus und kohlensaurem Kalk armen Boden das lösliche Zinksalz mehr oder weniger sofort seine giftigen Wirkungen auf die Pflanzen äußert; es kann auch keinem Zweifel unterliegen, daß das von Zeolithen absorbierte oder gebundene Zink bei der leichteren Löslichkeit der Zeolithverbindungen schädlich wirken muß. Diese Resultate geben uns die Erklärung für die Abweichungen der Ergebnisse der verschiedenen Versuche; sie erklären auch, warum beim Begießen des Bodens mit Zink- oder anderen Salzen keine Beschädigung der Vegetation eingetreten ist.“[1])

Nach den Untersuchungen von Haselhoff und Gössel[2]) erweist sich das Zinksulfat als sehr starkes Gift für Weizen und Senf, und diese „schädliche Wirkung kann auch durch größere Mengen Kalkkarbonat nicht leicht aufgehoben werden“. Es wurde ein lehmiger Sandboden benutzt, dem so viel Zinksulfat zugesetzt worden war, daß er 0,235 % Zinkoxyd (gleich 0,19 % Zn) enthielt. Vom Weizen gingen nur ganz vereinzelte Pflanzen auf; diese kränkelten von Anfang an und gingen sehr bald ein. Die Pflanzen wurden entfernt und der Boden mit kohlensaurem Kalk gedüngt. Dann wurde der Boden mit Senf bestellt; aber auch jetzt kam es zu keiner Vegetation. Der Weizenversuch war gleichzeitig auch mit starkem Kalkzusatz ausgeführt worden, doch mit dem gleichen Ergebnis, wie im ungedüngten Boden. Auch in meinen Versuchen hat sich das lösliche Zinksulfat, das der Heideerde beigemischt worden war, allerdings in erheblich größerer Menge als in dem

[1]) Die vorstehenden Angaben aus der Literatur über Zink sind Haselhoff und Lindau, Die Beschädigung der Vegetation, Leipzig 1903, S. 329 ff. entnommen.

[2]) Über die Einwirkung von schwefliger Säure, Zinkoxyd, Zinksulfat auf Boden und Pflanzen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten. 4. Heft.

Versuch von Haselhoff und Gössel als schädlich erwiesen. Der Boden hatte so viel gepulvertes Zinksulfat zugesetzt erhalten, daß er 0,9 % Zink enthielt. Von den ausgesäten Lupinen waren nur einige wenige Exemplare gekommen, und diese waren nur einige Zentimeter hoch geworden. Die gleichzeitig ausgesäten Fichten waren nicht ganz so schlecht gekommen, waren jedoch auch nur kümmerlich und klein geblieben und besaßen ein kleines Wurzelsystem. Im nächsten Jahre wurden von neuem in den Topf Fichten ausgesät. Es sind kleine Fichten mit kurzen Nadeln gekommen. In der Aussaat vom zweiten Jahre standen die Fichten etwas besser als bei der ersten Aussaat; vielleicht ist das darauf zurückzuführen, daß inzwischen ein Teil des Zinksulfats aus dem Boden ausgewaschen oder in eine unlösliche Form übergeführt worden war, was allerdings nicht geprüft wurde. Es scheint sich bei der schädlichen Wirkung auch in diesem Falle um eine spezifische Zinkwirkung zu handeln, obgleich zunächst an eine osmotische Wirkung gedacht werden könnte, wofür die günstigen Resultate von Baumann mit Zinksulfatlösung in Sandboden sprechen, während Haselhoff und Gössel, die ebenso wie ich das Zinksulfat in fester Form dem von ihnen benutzten lehmigen Sandboden zusetzten, eine stark giftige Wirkung feststellten. Da ich aber einen sauren Boden benutzte, so kann man auch daran denken, daß die Schädigung durch Ausscheidung von Schwefelsäure bei Absorption der Base durch die absorptiv ungesättigten Humusstoffe verursacht worden ist. Baumann[1]) führt ein Beispiel dafür an, und ich habe dies Ergebnis durch Wiederholung des Versuches bestätigen können, daß in Moorboden, dem nur Gips zugesetzt worden war, die Pflanzen zugrunde gingen. In einem vorher gekalkten Boden schadete der gleich große Zusatz von Gips in meinem Versuch nicht. Aber für eine spezifische Wirkung des Zinks in dem Versuch mit Zinksulfat scheint mir zu sprechen, daß auch metallisches Zink in Sandboden, wo also weder die osmotische Wirkung noch Ausscheidung von Säure durch die Humusstoffe im Spiel sein konnte, die Pflanzen auch in sehr starkem Maße geschädigt wurden. In welcher Form das Zink in Lösung gebracht wird, habe ich nicht untersucht. Sowohl die Lupine wie die Fichten waren ganz kümmerlich gekommen, doch mit dem Unterschied, daß die ersteren besser standen als im Topf mit Zinksulfat,

[1]) Mitteilungen der K. Bayr. Moorkulturanstalt. Heft 4.

während sich die Fichten umgekehrt verhielten. Der Zusatz von Kalk zum Boden hatte das Wachstum der Lupinen nur wenig verbessert, das der Fichten etwas mehr, doch brachten sie es auch unter diesen Umständen nicht zu einer normalen Entwicklung.

Über die schädliche Wirkung des Zinkweiß und des Zinkkarbonats als Zusatz zu Böden gehen die Ergebnisse der verschiedenen Experimentatoren auch auseinander. Nach Pappenheim sollen Erbsen, Bohnen und Roggen ganz normal in Böden gedeihen, denen 10% Zinkweiß zugesetzt wurde. Und Freytag zog Sommerweizen, Hafer und Erbsen in Böden, die 1, 2 und 5% Zinkweiß enthielten. Ebenso konnte er bei Mais, Hafer, Weizen und Roggen einen schädlichen Einfluß des Zinks in einem Boden feststellen, der 0,2% kohlensaures Zink enthielt[1]). Nach den Untersuchungen von Phillips[2]) gediehen *Geranium* und *Viola tricolor* ganz normal in einem Boden, der $^1/_2$% Zinkkarbonat enthielt. Haselhoff und Gössel fanden hingegen, daß Weizen in lehmigem Sandboden, der 0,235% ZnO enthielt, in geringem Grade geschädigt wurde, und daß eine Kalkdüngung ohne Einfluß auf die nachteilige Wirkung war[3]). Meine eigenen Versuche mit Zinkweiß im Gartenboden, dem soviel zugesetzt worden war, daß er 0,19% Zink, gleich 0,237% ZnO enthielt, also soviel als der Boden, den Haselhoff und Gössel benutzten, zeigen, daß die Pflanzen verschieden beeinflußt wurden. Das Wachstum von Buchweizen war beeinträchtigt, noch mehr das der Lupine und Akazie. Dahingegen haben die Fichte, Kiefer und Krummholzkiefer gegenüber demselben Boden ohne Zinkzusatz eine erhebliche Förderung ihres Wurzelwachstums erfahren. Und hiermit steht in sehr gutem Einklang, daß sich einjährige Fichten und Kiefern in Töpfen sehr gut entwickelten und große Wurzelsysteme bildeten, die Galmeiboden aus der Stolberger Gegend enthielten. Dieser Galmeiboden ist ziemlich reich an Kalk.

Sehr viel schädlicher wirkt Zinkoxyd in sauren Böden, allerdings habe ich einen viel höheren Gehalt als in den Versuchen mit Gartenboden benutzt. Auf Moorboden, der 1,33% enthielt, hat das Zinkoxyd als starkes Gift bei allen Versuchspflanzen

---

[1]) Die vorstehenden Angaben sind Haselhoff und Lindau a. a. O. entnommen worden.

[2]) The absorption of metallic oxides by plants. The Chemical News, Bd. 46, 1882, S. 226.

[3]) A. a. O.

gewirkt, wenn sie auch verschieden empfindlich sind. Am empfindlichsten waren Eiche, Roteiche und Buche, die weder auf der ungekalkten noch auf der gekalkten Parzelle gekommen waren. Auf der ungekalkten Parzelle war ferner der Raps nicht gekommen. Gekommen, aber eher oder später wieder zugrunde gegangen waren Weizen, Roggen, Hafer, Buchweizen, Lupine, Fichte, Kiefer und Krummholzkiefer. Auf der gekalkten Parzelle ist sehr zeitig Buchweizen zugrunde gegangen, bis in den September hielten sich Raps und Lupine, während Hafer verhältnismäßig gut stand. Weizen und Roggen hielten sich bis zum Ausgang der zweiten Vegetationsperiode, und von den Nadelhölzern existierten noch im Oktober, also nach zwei Jahren, Exemplare. Obgleich manche der Pflanzenarten sich lange auf der gekalkten Parzelle mit Zinkweiß gehalten hatten, hatten sie sich doch, mit Ausnahme von Hafer, nur kümmerlich entwickelt; sie standen erheblich schlechter als auf der gekalkten Moorfläche; selbst die Nadelhölzer, die sich von allen Pflanzen am längsten hielten, sind auf die Dauer auf dem zinkhaltigen Boden nicht existenzfähig. Am besten hat der Hafer den Zusatz von Zinkweiß zum gekalkten Boden vertragen, wenn auch keine normalen Exemplare gewachsen sind.

Eine schädliche Wirkung des Zinkoxyds und des Zinkkarbonats konnte auch in einem aus einer Erdmischung hergestellten Boden, der nicht sauer reagierte, beobachtet werden, doch war die Wirkung weniger stark als im Moorboden, obgleich der Zusatz an Zinkverbindungen noch erheblich größer war. Es war soviel zugesetzt worden, daß sowohl die Töpfe mit Zinkoxyd wie mit Zinkkarbonat $2^1/_4\,\%$ Zink enthielten. Von den Versuchspflanzen war der Weizen am empfindlichsten; ein Zusatz von Kalk besserte sein Wachstum im Topf mit Zinkoxyd wie mit Zinkkarbonat, während bei der Fichte nur eine Besserung im Zinkoxyd erzielt wurde, und bei der Lupine in beiden Fällen sogar eine Verschlechterung im Wachstum eintrat. Bei der Fichte hat das Zinkkarbonat sehr eigentümlich gewirkt. Der Stengel ist im ungekalkten Topf mit Zinkkarbonat kürzer, die Wurzel länger geworden als bei den Pflanzen, welche in der Erdmischung ohne jeglichen Zusatz wuchsen. Es harmoniert diese Erscheinung mit dem Verhalten der Fichte im Gartenboden mit Zusatz von Zinkweiß, wo gleichfalls das Wurzelwachstum gefördert war. Demnach ist also das Zinkkarbonat mindestens für die Fichte weniger giftig als das Zinkoxyd.

Ein Zusatz von metallischem Zink zu Sand in der Menge von 2 % hat für alle Pflanzen sehr giftig gewirkt. Die Lupine ging darin zugrunde, gleichgültig, ob der Boden gekalkt war oder nicht, bei Kalkzusatz kam sie etwas besser. Noch schneller ist die Sonnenblume nach kümmerlicher Entwicklung zugrunde gegangen; der Zusatz von Kalk hatte die Entwicklung der Pflanzen nicht nennenswert begünstigt. Die Fichte war in beiden Töpfen kümmerlich gekommen, wenn auch eine Kleinigkeit besser im Topf mit Kalkzusatz. Erheblich günstiger hat der Kalkzusatz bei der Kiefer gewirkt; sie scheint überhaupt weniger empfindlich gegen Zink zu sein als die anderen Pflanzen.

Meine eigenen Erfahrungen zeigen, daß der Grad der Schädigung der Pflanzen durch Zink und seine Verbindungen in hohem Grade abhängig ist von der spezifischen Empfindlichkeit der Pflanze, von der Natur des Bodens und von der Natur der Zinkverbindung. Es geht daraus hervor, daß die Zinkverbindungen — es wurde allerdings nur eine geprüft — im sauren Boden gefährlicher sind als in anderen Böden, und dieser Umstand ist wohl zu beachten bei der Wirkung des Flugstaubes, der Zink enthält. Auf neutralen oder alkalischen Böden wird der Flugstaub weniger schädlich wirken als auf sauren; nun aber besteht in der Nähe von Hütten die Gefahr, daß durch die Entkalkung der Boden sauer wird oder daß saure Waldböden vom Flugstaub getroffen werden. Unter diesen Umständen wird die Vegetation durch Zink leiden; es muß bei Feststellung der Ursachen der Vegetationsschäden in solchen Gebieten auf das Zink Rücksicht genommen werden.

Weniger schädlich als das Zink und seine Verbindungen sind das Blei und seine Verbindungen; doch muß auch hier die Wirkung in sauren und nicht sauren Böden unterschieden werden. Als saure Böden wurden Heideerde und Moorboden benutzt. Bei ersterer betrug der Bleigehalt 2 %, beim Moorboden war soviel von den Verbindungen zugesetzt worden, daß bei Mennige der Bleigehalt 1,2, bei Bleiglätte 1,23 und bei Bleiweiß 1,03 % betrug. Eine wirkliche Schädigung der Lupine, des Hafers und der Fichte durch das metallische Blei trat nicht hervor, nur ist bei der Fichte der Wuchs etwas gedrungener und sind die Nadeln etwas kürzer als bei der Heideerde ohne Bleizusatz. Ein Kalkzusatz zum Boden hat das Wachstum nicht begünstigt, eher etwas zurückgehalten. In der Heideerde hat Mennige keine Schädigung bei Lupine und Fichte, augenscheinlich nur eine unbedeutende bei Hafer hervor-

gerufen. Bleiglätte und Bleiweiß schädigten die Lupine, Bleikarbonat Hafer und Fichte, während Bleiglätte beim Hafer das Wachstum etwas steigerte. Ein Kalkzusatz begünstigte bei allen drei Verbindungen das Wachstum der Lupine und des Hafers, das des Hafers bei Bleiglätte und Mennige unbedeutend, bei Bleiweiß bedeutender. Für die Fichte war der Kalkzusatz ohne Wirkung bei der Mennige, er steigerte die schädliche Wirkung des Bleikarbonats und rief eine schädliche Wirkung der Bleiglätte hervor.

Auf dem Moorboden mit Zusatz von Bleiverbindungen verhielten sich die Pflanzen im wesentlichen wie auf dem Boden ohne diese Zusätze, nur blieben die Eichen auf allen Bleiparzellen und die Buche auf der Parzelle mit Bleiglätte aus; bei den Nadelhölzern verlangsamte sich das Längenwachstum der Wurzeln. Wie auf der gekalkten Moorfläche begünstigte auch auf den Parzellen mit Bleiverbindungen der Kalkzusatz das Wachstum der Pflanzen, doch trat nun vielfach erst ein schädlicher Einfluß des Bleis hervor. Bei den meisten Pflanzenarten schädigte Bleiweiß am wenigsten, Bleiglätte am meisten. Weizen, Roggen, Hafer, Buchweizen, Raps und Lupine standen auf der Parzelle mit Bleiweiß etwas weniger gut als auf der gekalkten Moorfläche. Fichte und Krummholzkiefer litten am wenigsten unter Mennige, Fichte am meisten unter Bleiglätte, Krummholzkiefer am meisten unter Bleiweiß. Bei der Kiefer hingegen erfuhr das Längenwachstum der Wurzeln sogar eine Förderung auf den Parzellen mit Blei gegenüber der gekalkten Moorfläche, doch verriet das Gesamtverhalten der Pflanzen, daß die Bleiverbindungen ungünstig einwirkten. Immerhin war der Einfluß der Bleiverbindungen auf die Nadelhölzer nicht so bedeutend, daß ihre Existenz dadurch auf das Spiel gesetzt wurde.

Bei den Versuchen im Gartenboden, wo die Konzentration der zugesetzten Bleiverbindungen erheblich geringer war (Bleiglätte 0,16, Mennige 0,16 und Bleiweiß 0,26 % Pb) war das Verhalten der einzelnen Pflanzenarten gegen die Bleiverbindungen sehr ungleich. Die Nadelhölzer hatten im Längenwachstum ihrer Wurzeln eine Förderung erfahren, und zwar war sie bei der Fichte am größten durch das Bleiweiß, am kleinsten durch die Bleiglätte. Dahingegen übte bei der Krummholzkiefer das Bleiweiß den geringsten Einfluß aus, Bleiglätte einen ungefähr gleich großen wie Mennige. Die Akazie wurde nur wenig ungünstig durch die Bleiverbindungen beeinflußt, am meisten noch durch Mennige. Etwas

nachteilig hat Mennige auch auf Lupine und Sonnenblume gewirkt. Lupine war im Wachstum durch Bleiglätte, noch mehr durch Bleiweiß gefördert worden. Der Sonnenblume war Bleiglätte am wenigsten schädlich, und ebenso verhielt sich Buchweizen. Der Hafer hingegen litt am meisten unter Bleiglätte, während Bleiweiß so gut wie unschädlich war. Wenn nun auch Ausnahmen vorkamen, so schadete doch im allgemeinen Bleiweiß am wenigsten, namentlich, wenn man berücksichtigt, daß es in viel höherer Konzentration angewendet wurde als die anderen Bleiverbindungen.

Im Sande mit 2 % metallischem Blei war das Wachstum von Lupine, Sonnenblume und Fichte sowohl mit wie ohne Zusatz von Kalk etwas beeinträchtigt, während die Kiefer eine Förderung ihres Wurzelwachstums erfuhr, die bei Kalkzusatz sogar 50 % gegenüber dem Wachstum der Kiefern im Sande mit Kalkzusatz betrug.

Bei reichem Gehalt des Bodens an Bleioxyd konnte v. Schroeder eine Schädigung der ausgesäten Gerste wahrnehmen. Er hatte einem aus Ton, Sand und Humus hergestelltem Boden 5 und 10 % Bleioxyd als feingepulverte Glätte beigemischt. „Die Gerste in dem bleihaltigen Boden sah während der ganzen Vegetation nicht krank aus, nur zeigte sie hin und wieder an einigen Blättern trockene Spitzen; sie blieb aber schon in der ersten Jugend hinter der normalen Vegetation zurück, und zwar um so mehr, je größer der Bleigehalt des Bodens war. Dieser Verlauf der Vegetation kam auch in der Ernte zum Ausdruck, indem 4 Gerstenpflanzen bei normaler Vegetation 6,798 g, bei 5 % Bleioxyd 4,325 g und bei 10 % Bleioxyd im Boden 3,245 g Trockensubstanz als Ertrag ergaben.“ [1]) Dahingegen konnte Nobbe [1]) bei der Gerste keinen schädlichen Einfluß des Bleis feststellen, als er mit Bleioxyd, Bleinitrat und Bleisulfat in den Konzentrationen von 0,02 bis 2 % Blei experimentierte. Nach Philipps [2]) gedieh *Ageratum* normal bei einem Zusatz zum Boden von $^1/_2$ % Bleiweiß; nur nahmen die Blätter einen gelben Farbenton an. In einem Boden, der 0,1 % Bleioxyd enthielt, konnte Klien [1]) an der Fichte keine Vegetationsstörungen beobachten. Andererseits teilt Tschirch mit, daß er an seinen Versuchspflanzen einen ausgesprochenen Nanismus beobachtete, als er dem Boden soviel Mennige zugesetzt hatte, wie

[1]) Angaben nach Haselhoff und Lindau, a. a. O. S. 333.
[2]) A. a. O.

ich in den Versuchen mit Gartenboden verwandte. Die Pflanzen blieben klein und schmächtig und kamen nicht zur Blüte[1]). Wie wir gesehen haben, trifft das in meinen Versuchen nicht zu. Ein Grund für das abweichende Resultat ist nicht ersichtlich.

Nach meinen Versuchen sind für manche Pflanzenarten die Bleiverbindungen schon giftig, wenn sie in solchen Mengen dem Boden zugesetzt werden, daß er 0,16 % Blei enthält. Andere Pflanzenarten hingegen werden durch einen so kleinen Zusatz sogar in der Entwicklung gefördert, doch leiden auch diese unter dem Blei, wenn der Zusatz stärker wird. Auch die Beschaffenheit des Bodens scheint eine Rolle zu spielen, doch kann das nicht mit Sicherheit behauptet werden, da die Unterschiede in der zugesetzten Menge der Bleiverbindungen in den einzelnen Böden zu bedeutend waren. Mit der Zunahme der Mengen wächst in allen Böden die Gefahr der Schädigung. Wahrscheinlich schädigt der Bleizusatz zu den sauren Böden mehr als zu anderen. Jedenfalls geht aber aus unseren Versuchen mit sauren Böden hervor, daß die Gegenwart von Bleiverbindungen im Boden in solchen Mengen, wie sie im Claustaler Rauchschadengebiet nachzuweisen sind, für fast alle untersuchten Pflanzenarten schädlich ist. Allerdings ist die Schädigung für manche Pflanzenarten nicht sehr beträchtlich und erheblich geringer als die durch Zinkweiß im Moorboden. Wenn nun auch aus allen Versuchen und Beobachtungen, besonders dadurch, daß die Pflanzen nach Zusatz von Kalk auf den verräucherten Böden wieder normal wachsen, hervorgeht, daß der hohe Gehalt des Bodens an Blei nicht die Ursache der Vernichtung der Vegetation ist, zu welchem Schluß ja auch schon v. Schroeder und Reuß gekommen waren[2]), so kann doch die Gegenwart des Bleis das normale Gedeihen etwas herunterdrücken.

Unaufgeklärt bleibt vor der Hand, woher es rührt, daß die eine Pflanzenart mehr von der Bleiglätte, die andere mehr von der Mennige und die dritte mehr von Bleiweiß geschädigt wird. Bei nicht zu hohem Gehalte an den Bleiverbindungen im Boden erweist sich durchschnittlich das Bleiweiß, also das Karbonat des Bleis, als das wenigst schädliche.

---

[1]) Das Kupfer vom Standpunkte der gerichtlichen Chemie, Toxikologie und Hygiene. Stuttgart 1893, S. 15.

[2]) Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. Berlin.

In bezug auf Kupfer sind meine Erfahrungen sehr gering und erstrecken sich nur auf einen Versuch mit Kupfervitriol. Ich stellte diesen Versuch an, da ich mich davon zu überzeugen wünschte, ob der Gehalt von 0,13 % Cu giftig wirkte, oder ob im Gartenboden derartige Verhältnisse herrschen, daß das Kupfervitriol sofort unschädlich gemacht wird, woraus sich die Angabe bei Tschirch erklären könnte, daß ein derartiger Zusatz Weizen und Kartoffeln nicht schädigte[1]). Sonst stimmen alle Angaben darin überein, daß Kupfer schon in geringer Menge mehr oder weniger schädlich ist, selbst, wenn es in unlöslicher Form geboten wird. So teilt Phillips[2]) mit, daß Achyrantes in einem Boden mit $^1/_2$ % Kupferkarbonat gleich 0,15 % Cu stark gelitten hatte. Die glänzenden Blätter färbten sich dunkler und das Kupfer hatte die ursprünglichen Wurzeln getötet und die Bildung neuer verhindert. Für Gerste fand v. Schroeder allerdings ein anderes Verhalten. In einem aus Sand, Ton und Humus gemischten Boden war das Wachstum der Gerste gut und normal bei einem Gehalt des Bodens an 0,5 % Kupferoxyd (gleich 0,4 % Cu), sie kränkelte und verkrüppelte aber, wenn der Boden den gleichen Gehalt an Kupferoxyd in Form von Kupfervitriol enthielt. „Die Einwirkung des (aus Kupfervitriol) absorbierten Kupfers zeigte sich bei 0,05 % bereits deutlich und ist schon bei 0,01 % bemerkbar, bei dem mechanisch beigemengten Kupferoxyd beginnt die schädliche Wirkung bei 1 %.“[3]) Diese Widersprüche zwischen den Ergebnissen verschiedener Forscher lösen sich leicht durch Annahme einer ungleichen Empfindlichkeit der Pflanzenarten, wenigstens zeigen ja auch die neueren Untersuchungen von Simon[4]), daß z. B. Senf empfindlicher ist als Hafer.

Bei meinen Versuchen mit Kupfervitriol im Gartenboden fand ich bestätigt, daß sich die verschiedenartigen Pflanzen ungleich verhalten. Im Jahre der Aussaat trat eine deutliche Schädigung hervor bei Weizen, Roggen, Akazie und Stachelginster; im folgenden Jahre hatten sie sich vollständig wieder erholt. Die im ersten Jahre ausgesäten Einjährigen wie Buchweizen, Hafer und Lu-

---

[1]) A. a. O. S. 15.

[2]) A. a. O.

[3]) Angeführt nach Haselhoff und Lindau, a. a. O. S. 332.

[4]) Über die Einwirkung eines verschiedenen Kupfergehaltes im Boden auf das Wachstum der Pflanze. Landw. Vers.-Stationen, Bd. LXXI, S. 417.

pinen hatten durch das Kupfervitriol gelitten. Die Nadelhölzer wurden erst nach der zweiten Vegetationsperiode eingehender untersucht. Gegenüber den Exemplaren auf dem Boden ohne Kupferzusatz hatten sie hier nicht nur nicht gelitten, sondern sie waren auch besser gewachsen. Auch im ersten Jahre konnte man keine Benachteiligung an ihnen sehen. Daß ein Teil der Pflanzen im ersten Jahre Beschädigungen aufwies, die im zweiten ausblieben, muß wohl darauf zurückgeführt werden, daß im Laufe der Zeit ein Teil des Kupfers aus dem Boden ausgewaschen oder in eine unlösliche Form übergeführt worden war. Namentlich letzteres darf man nach Untersuchungen von Haselhoff[1]) und Simon[2]), die durch Zusatz von Kalk zum Boden die schädliche Wirkung des löslichen Kupfersalzes aufheben oder hemmen konnten, vermuten.

Nach den Untersuchungen von Simon hat die Beschaffenheit des Bodens einen gewichtigen Einfluß auf die Schädigung. In Sand, dem eine Normalnährlösung zugesetzt worden war, kamen Senf und Hafer bedeutend schlechter als in Gartenerde und Tonboden, und zwar standen die Pflanzen am besten in der Gartenerde. Vermutlich ist der wesentliche Grund hiervon in der Höhe des Kalkgehaltes zu suchen, doch ist das nicht näher geprüft worden.

Daß Kupferverbindungen aus Flugstaub im Boden für die Pflanzen gefährlich werden können, namentlich, wenn er außerdem von schwefliger Säure getroffen wird, leuchtet ein und ist auch durch die Erfahrungen von Sorauer[3]) und die Versuche von Haselhoff erwiesen worden[4]).

Bei meinen Versuchsergebnissen überrascht zunächst, daß unter bestimmten Umständen gewisse Pflanzenarten durch Zusatz bestimmter Metallverbindungen zum Boden nicht nur nicht in ihrem Wachstum gehemmt, sondern sogar gefördert worden sind. So bewirkte im Gartenboden Zinkoxyd eine Wachstumszunahme des Wurzelsystems von Fichte, Kiefer und Krummholzkiefer und in

[1]) Internationaler phytopathologischer Dienst, 1. Jahrg., 1908, S. 80. Beilage zur Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten.

[2]) A. a. O.

[3]) Handbuch der Pflanzenkrankheiten, 3. Aufl., 1. Bd., S. 732.

[4]) Internationaler phytopathologischer Dienst, 1. Jahrg., 1908, Stück 3.

dem aus einer Mischung hergestellten Boden Zinkkarbonat eine solche bei Fichte. Das Wurzelwachstum der Kiefer erfuhr eine Förderung durch den Zusatz von Bleiglätte, Mennige und Bleiweiß zum gekalkten Moorboden, und ebenso wirkten diese Zusätze zum Gartenboden auf das Wurzelwachstum von Fichte, Kiefer und Krummholzkiefer. Auch die Wurzel von Lupine wuchs stärker unter diesen Umständen bei Bleiglätte- und Bleiweißzusatz. Im Sande mit 2 % metallischem Blei war die Wurzel der Kiefer stärker gewachsen als ohne diesen Zusatz, und bei Gegenwart von Kalk sogar um 50 %. Eine Begünstigung des Wurzelwachstums erfuhren die drei Nadelhölzer ferner durch den Zusatz von Kupfervitriol zum Gartenboden.

Soweit ich sehen kann, ist eine Förderung des Wachstums phanerogamer Pflanzen durch Verbindungen von Schwermetallen nur von Baumann für schwefelsaures Zink beobachtet worden. Dahingegen ist schon lange bekannt, daß Pilze durch Zusatz von sehr geringen Mengen löslicher Zinksalze zur Nährlösung eine Steigerung ihrer vegetativen Entwicklung erfahren[1]). Eine nähere Untersuchung dieser Verhältnisse haben Richards[2]), Ono[3]) und Andreas Richter[4]) vorgenommen. Die Salze verschiedener Metalle und auch einige andere anorganische Verbindungen befördern die vegetative Entfaltung von *Aspergillus niger*, *Penicillium glaucum* und *Botrytis cinerea*, ferner von niederen Algen wie *Protococcus*, *Hormidium*, *Chroococcum* und *Stigeoclonium*. Kupfervitriol ist für die Algen schädlich und wirkt nicht stimulierend, gegen Pilze soll es sich wie die anderen Metallverbindungen verhalten nach den Angaben von Ono, dem aber Richter widerspricht[5]). Die Förderung der vegetativen Verhältnisse durch die stimulierende Wirkung der Salze soll vielfach auf Kosten der Konidienbildung geschehen. Es wirken so Metallsalze, die in höheren Konzentrationen für die Pflanze giftig sind, in sehr starken Verdünnungen als Reizmittel. Nach Richter ist das darauf zurückzuführen, daß

---

[1]) Raulin, 1869. Annales sc. nat. V. 11, 93.

[2]) Die Beeinflussung des Wachstums einiger Pilze durch chemische Reize. Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. 30, 187.

[3]) Über die Wachstumsbeschleunigung einiger Algen und Pilze durch chemische Reize. Arb. Bot. Inst. Univ. Tokio. Bot. C. LXXX, 1899, S. 170.

[4]) Zur Frage der chemischen Reizmittel. Bact. C. II, VII, S. 11.

[5]) Ber. d. d. bot. Ges. 1894, S. 1.

in diesen Verdünnungen die Salze dissoziiert sind, und daß die Ionen eine andere Wirkung ausüben als die Salze. Sichere Angaben über eine derartige reizende Wirkung von Metallverbindungen auf phanerogame Pflanzen liegen nicht vor. Die in Versuchen von Frank und Krüger beobachtete günstige Wirkung in der Entfaltung von Kartoffeln nach dem Spritzen mit der Bordelaiser Brühe ist vermutungsweise auf eine derartige stimulierende Wirkung des Kupfers zurückgeführt worden[1]), doch hat Ewert[2]) eine andere Deutung für die bei der Spritzung mit der Bordelaiser Brühe wahrgenommenen Erscheinungen gegeben. Es bleibt also noch fraglich, ob in diesen Fällen tatsächlich eine Reizwirkung vom Kupfer ausgegangen ist. Die von mir beobachtete Förderung des Wurzelwachstums verschiedener Pflanzenarten, namentlich der Nadelhölzer unter Einwirkung von Zink-, Blei- und Kupferverbindungen ist möglicherweise auf die stimulierende Wirkung der genannten Verbindungen in größerer Verdünnung zurückzuführen, während sie in größerer Konzentration giftig wirken; denn wir werden wohl vermuten dürfen, daß, wenn der Zusatz der Verbindungen beträchtlicher ist, auch eine konzentriertere Lösung im Boden entsteht, ähnlich wie beim Kalk, der, wenn er in zu geringer Menge im Boden vorhanden ist, wirkungslos bleibt. Die Wachstumssteigerung der Wurzeln ist aber nach unseren Erfahrungen nicht auf diese giftigen Verbindungen beschränkt. Ich weise hier auf die auf S. 101 mitgeteilten Ergebnisse der Versuche mit Sand unter verschiedenen Zusätzen hin. In den Töpfen, welche einen Zusatz von kohlensaurem Kalk, kohlensaurem Baryum, kohlensaurem Natrium, kohlensaurem Kalium und Chlorbaryum erhalten hatten, wuchsen die Wurzeln erheblich stärker als in dem Topf mit Sand allein, am stärksten aber im Topf mit Zusatz von Kalk, doch kam die Größe der Wurzeln in einem Teil der anderen Zusätze nahezu an die der gekalkten Exemplare heran. Die Wachstumssteigerung z. B. durch die Baryumverbindungen muß man, da Baryum nicht als Nährstoff dient, einer Reizwirkung zuschreiben. Dann muß man aber das gleiche für das kohlensaure Natrium annehmen, da auch Natrium kein Nährstoff ist. Berücksichtigt man aber, daß kohlensaures Kalium ebenso wie kohlen-

[1]) Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1904, S. 107.

[2]) Der wechselseitige Einfluß des Lichtes und der Kupferkalkbrühen auf den Stoffwechsel der Pflanze. Landw. Jahrbücher 1905.

saures Natrium das Wachstum gefördert hat, so wird man wenig geneigt sein, im einen Falle von einer Reizwirkung, im anderen von Ernährung zu sprechen, nur weil Kalium ein Nährstoff ist. Schließlich trifft aber dieselbe Erwägung auch auf den Kalk zu. Als Nährstoff ist er unentbehrlich, trotzdem könnte er außerdem als Reizstoff wirken. Die hier mitgeteilten Beobachtungen fordern erneut zu einer Untersuchung der Frage nach der Art der Wirkung dieser verschiedenen mineralischen Verbindungen auf, ist es doch nicht ganz ausgeschlossen, daß die Elemente sich vielleicht teilweise ersetzen können.

Verlag von Gebrüder Borntraeger in Berlin
W 35 Schöneberger Ufer 12a

Untersuchungen über die Einwirkung schwefliger Säure auf die Pflanzen

von **Professor Dr. A. Wieler.** Nebst einem Anhange: **Oster, Exkursion in den Stadtwald von Eschweiler zur Besichtigung der Hüttenrauchbeschädigungen am 5. September 1887.** Mit 19 Textabb. und 1 Tafel. Geheftet 12 Mk., gebunden 14 Mk.

Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch.

Handbuch zur Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden von **Professor Dr. E. Haselhoff**, Vorsteher der Landwirtschaftlichen Versuchsstation in Marburg i. H., und **Professor Dr. G. Lindau,** Privatdozent der Botanik und Kustos am Kgl. Botanischen Garten in Dahlem. Mit 27 Textabb. Geheftet 10 Mk., gebunden 11 Mk.

Hautreizende Primeln.

Untersuchungen über Entstehung, Eigenschaften und Wirkungen des Primelhautgiftes von **Professor Dr. A. Nestler.** Mit 4 Taf. Geh. 3 Mk. 50 Pfg.

Die wirtswechselnden Rostpilze.

Versuch einer Gesamtdarstellung ihrer biologischen Verhältnisse von **Prof. Dr. H. Klebahn.** Mit 8 Taf. Geh. 20 Mk., in Halbfrz. geb. 23 Mk.

Krankheiten des Flieders

von **Prof. Dr. H. Klebahn.** Mit 45 Textabb. Geheftet 4 Mk. 20 Pfg.

Einführung in die Agrikulturmykologie

von **Professor Dr. Alexander Kossowicz.** Erster Teil: **Bodenbakteriologie.** Mit 47 Textabbild. Geh. 4 Mk., geb. 5 Mk.

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

Wieler, A./Pflanzenwachstum und Kalkmang
3 5185 00044 6623

G.E.STECHERT